
UC-NRLF
B 4 501 133



GRUNDZÜGE

DER

ELEKTROTECHNIK

VON

KARL EXLER

K. UND K. HAUPTMANN, LEHRER AM HÖHEREN ARTILLERIE- UND GENIE-CURS.

MIT 503 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN FIGUREN.



WIEN 1895.

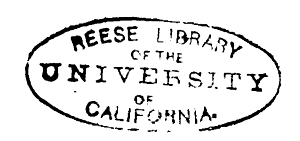
IM COMMISSIONSVERLAGE VON SPIELHAGEN & SCHURICH.

DRUCK VON R. v. WALDHEIM

Inhaltsverzeichnis.

*





Vorwort.

Das vorliegende, vorwiegend für die praktischen Bedürfnisse bestimmte Werk wurde von mir auf Grund meiner mehrjährigen Erfahrungen als Lehrer an den höheren und an den Lichtmaschinen-Cursen zusammengestellt, und hat den Zweck, in zulässig einfacher Weise einerseits die durch zahlreiche Beispiele und mehr als 500 Textfiguren erläuterten Grundlehren und Erscheinungen der Elektrotechnik zur Darstellung zu bringen, anderseits mit dieser jene Regeln und Erfahrungsdaten zu verbinden, welche sich auf den Betrieb und die Betriebsstörungen von elektrotechnischen Apparaten beziehen. Um das Verständnis für den Inhalt des Werkes zu unterstützen, wurden die algebraischen Ableitungen möglichst restringiert, und nur dort, wo es nicht zu vermeiden war, Ausdrücke der höheren Mathematik eingefügt. Doch genügt für den in dieser letzteren Disciplin nicht bewanderten Leser, die Kenntnis der Endresultate der bezüglichen Formeln.

Um den Preis des Werkes möglichst nieder zu halten, ist von der Beigabe der üblichen großen Abbildungen, welche zumeist ohnedies mit der Zeit stark sich verändernde Apparate und Einrichtungen betreffen, abgesehen worden. Der in neuerer Zeit stetig mehr zur Geltung kommende Wechselstrom erhielt eine dem Gleichstrome analoge Behandlung.

Für die Zusammenstellung des Werkes wurden die bekannt guten Arbeiten und Publicationen von Kittler, Gérard, Fleming, Joubert, Strecker, dann Aufsätze der vortrefflich redigierten, elektrotechnischen Zeitschrift, sowie Vorlesungen von Dr. Sahulka benützt. Der Theil „Telegraphie“ ist selbständig vom Herrn k. u. k. Oberlieutenant Felix Lettowsky des Eisenbahn- und Telegraphen-Regimentes, zugetheilt dem Generalstabe, bearbeitet worden.

Zum Schlusse danke ich noch jenen Herren in der Praxis, welche mich bei der Durchsicht des Manuscriptes in der liebenswürdigsten und uneigennützigsten Weise unterstützt haben.

Das Werk verdankt sein Erscheinen nur der wohlwollenden Unterstützung seitens meiner Vorgesetzten.

Hauptmann Exler.

Einleitung.

Das absolute Maßsystem [1]).

Alle physikalischen Größenausdrücke, wie die Geschwindigkeit, Kraft, Arbeit etc., lassen sich mit Hilfe von drei fundamentalen Größen: der Längen-, der Massen- und der Zeiteinheit bestimmen.

Über das Größenverhältnis dieser drei Ausdrücke wurden bisher sowohl in der Wissenschaft, wie in der Praxis viele willkürliche Annahmen gemacht, und erst auf dem internationalen Congresse im Jahre 1881 zu Paris wurde dem allgemeinen Wunsche nach endlicher Übereinstimmung in der Wahl der Einheiten für diese Größen, Rechnung getragen.

Das auf diesem Congresse aufgestellte und gegenwärtig in der Elektrotechnik ausschließlich zur Anwendung gelangte Einheitssystem ist das absolute oder Centimeter-Gramm-Secunden-System (*CGS*); so genannt, weil bei demselben folgende Einheiten für die drei vorangeführten Fundamentalgrößen gewählt worden sind, u. zw.:

für die Länge: das Centimeter,
für die Masse: das Gramm (Masse) und
für die Zeit: die mittlere Zeitsecunde.

Alle anderen, in der Elektrotechnik vorkommenden Einheiten, wie z. B. jene für die Kraft, Stromintensität, Capacität etc. werden aus diesen drei Grundeinheiten abgeleitet und daher auch abgeleitete Einheiten genannt.

Letztere sind durch die internationalen Elektriker-Congresse im Jahre 1881, 1884, 1889 und 1893 näher definiert und mit ganz bestimmten Benennungen belegt worden.

Im folgenden sollen die wichtigsten Größeneinheiten in ihrer absoluten Definition erörtert, bezw. deren Zusammenhang mit den bisher üblichen mechanischen Maßsystemen gezeigt werden.

1. Kraft (oder die Ursache der Beschleunigung einer Masse).

Als Ausgangspunkt für deren Definition dient üblich das Gesetz der fernwirkenden Kräfte, welches besagt, dass, wenn zwei Massen (infolge irgend welcher Art wirkender Ursachen) aufeinander wirken, die bewegende Kraft eine Function der Entfernung der Massen von einander ist. Die Menge der

[1]) Siehe die bezüglichen Abhandlungen von Waltenhofen, Porges u. A. m.

wirkenden Ursachen (als welche Elektricität, Magnetismus, Schwere gelten kann) bezeichnet man allgemein als Masse, ohne den Begriff einer „materiellen“ Masse hiebei voraussetzen zu müssen.

Fig. 1.

m ---- r ---- m_1

Die Größe der Masse wird nun durch die Kraftäußerung [1]) bestimmt, welche zwei in einer bestimmten Entfernung r (Fig. 1) von einander befindliche Massen m und m_1 auf einander ausüben. Ist P die fernwirkende Kraft [2]), so ist dieselbe nach dem Coulomb'schen Gesetze über magnetische und elektrische Kräfte proportional dem Producte der Massen und verkehrt proportional dem Quadrate der Entfernung, also

$$P = a\,\frac{m m_1}{r^2},$$

worin a einen Proportionalitätsfactor bezeichnet, der von der Wahl der Masseneinheit abhängig ist.

Setzt man $m = 1$, $m_1 = 1$, $r = 1$, so wird $P = a$, und für $a = 1$ wird also $P = 1$ werden müssen.

Nach dieser Darlegung kann man die Einheit der Kraft als jene Kraft definieren, bei welcher die Einheit der Masse auf eine gleich große Masse in der Längeneinheit wirkend, in der Zeiteinheit eine Beschleunigung gleich der Längeneinheit bewirkt.

Nimmt man nun für $m = m_1 =$ die Masse eines Grammes, für $r = 1\,cm$ an, so ist

a) die absolute Krafteinheit, jene Kraft, bei welcher die Masse von $1\,g$ auf eine gleiche Masse in der Entfernung von $1\,cm$ wirkend, eine Beschleunigung von $1\,cm$ in der Secunde erzeugt.

Diese absolute Krafteinheit wird „Dyne“ genannt.

Für viele Zwecke ist diese Krafteinheit entweder zu klein oder zu groß; man hat daher wieder Vielfache oder Theile derselben genommen und diese entsprechend bezeichnet. Die Factoren, bezw. Divisoren sind Potenzen von 10.

So ist z. B. ein Megadyn $= 10^6$ Dyne,
„ Microdyn $= 10^{-6}$ Dyne.

b) In der technischen Praxis ist aber bisher noch immer das mechanische Maßsystem in Geltung, bei welchem man statt der Masse eines Grammes das Gewicht eines Kilogrammes annimmt. Die Krafteinheit ist also jene Kraft, mit welcher $1\,kg = 1.000\,g$ Wasser bei der Temperatur von 4° C. von der Erde angezogen wird. Durch diese Kraft erhält die Masse von $1\,dm^3$ Wasser die Beschleunigung des freien Falles g, welche z. B. für Wien = 9·81 ist.

Der Vergleich der absoluten mit der mechanischen Krafteinheit ergibt folgendes Verhältnis:

---

[1]) Da man die Ursache selbst nicht kennt, zieht man die Kraftäußerung in Betracht.

[2]) Kraft heißt allgemein die pro Zeiteinheit einer Masse zugeführte Menge an Bewegungsgröße (d. i. das Product aus Masse und Geschwindigkeit). Der Zuwachs an Bewegungsgröße pro Zeiteinheit (Secunde) ist die „Beschleunigung der Bewegungsgröße $\left(\frac{mv}{t}\right)$.

$1 kg = 100 . 1.000 . 9{\cdot}81 = 10^5 . 9{\cdot}81$ absolute Einheiten oder Dyne; folglich ist

$$1 \text{ Dyne} = \frac{1 kg}{10^5 . g}.$$

Die Verschiedenheit der Accelleration der Erde (g) für verschiedene Orte der Erdoberfläche war der hauptsächlichste Grund, dass man der Unabhängigkeit wegen, von den bisher praktisch üblichen Maßsystemen abgegangen und das absolute Maßsystem eingeführt hat.

2. Masse.

Aus der Definition für die Krafteinheit kann nun umgekehrt leicht jene für die Masseneinheit gefolgert werden. Die absolute Einheit der Masse wird offenbar jene Menge [1]) wirkender Ursachen sein, welche auf eine ihr gleiche Masse in der Entfernung von 1*cm* mit der Kraft einer Dyne wirkt. Mit Beziehung auf diese Wirkung sind die elektrischen und magnetischen Masseneinheiten analog der Masse eines Grammes.

3. Arbeit.

Jede Kraft äußert sich als potentielle oder kinetische Energie, d. h. sie hat entweder die Tendenz zur Arbeitsleistung (also ein Arbeitsvermögen oder eine Arbeitsfähigkeit) oder sie leistet wirkliche Arbeit.

Nach den Grundsätzen der Mechanik ist die Arbeit $A = P . s$, wenn P die Kraft und s die Weglänge bedeutet.

Als Arbeitseinheit gilt nun wieder jene Arbeit, bei welcher die Wegstrecke von einer Längeneinheit unter der Wirkung einer Krafteinheit zurückgelegt wird. Als mechanische Arbeitseinheit wird bisher in der Regel das *mk* (Kilogrammeter) angenommen.

Der Pariser Congress im Jahre 1884 hat jedoch als neue absolute Arbeitseinheit jene Arbeit definiert, bei welcher die Kraft von einer Dyne auf dem Wege von 1*cm* Länge wirkt, und hat diese Einheit „Erg" genannt (d. i. also eine Arbeit von 1 Dyn × 1 Centimeter).

Diese neue Arbeitseinheit war für die Praxis jedoch wieder zu klein, und so war man gezwungen, ein Vielfaches das (10^7 fache der absoluten Arbeitseinheit) zu nehmen. Man nennt nun 10^7 Erg ein „Joule".

Will man den Vergleich dieser neuen praktischen Einheit mit der im mechanischen Maßsysteme üblichen aufstellen, so ergibt sich, dass

$$1 mk = 9{\cdot}81 . 10^5 . 10^2 = 10^7 . g \text{ Erg, also}$$
$$1 mk = 9{\cdot}81 \text{ Joule,}$$
$$1 \text{ Joule} = \frac{1}{9{\cdot}81} mk, \text{ oder rund } 1 J = 0{\cdot}1 mk \text{ ist.}$$

4. Effect.

Derselbe ist die gebräuchliche Arbeitseinheit der maschinellen Technik, d. i. die Arbeit pro Secunde.

[1]) Unter „Menge wirkender Ursachen" können allgemein elektrische oder magnetische Massen verstanden sein.

Im absoluten Maße wird sonach die Effecteinheit ein Erg pro Secunde, und als neue praktische Effecteinheit das Joule pro Secunde sein. Man nennt diese Effecteinheit ein „Watt".

Im mechanischen Maße ist nach der vorigen Definition die Effecteinheit das Kilogrammeter pro Secunde.

Es ist jedoch üblich, den Effect in Pferdestärken (1 HP = $75 mk$) anzugeben. Der Vergleich dieses mit der absoluten Maßeinheit ergibt:

$$1 \text{ HP} = 75 mk = 75 \,.\, 9{\cdot}81 \text{ Watt}$$
$$\doteq 736 \text{ Watt.}$$

5. Wärme.

Nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie sind Wärme und Arbeit äquivalent.

Als Einheit der Wärmequantität wurde willkürlich für den praktischen Gebrauch die „Calorie", u. zw. die Gramme-, bezw. Kilogramm-Calorie (auch kleine und große Calorie genannt) angenommen. Unter einer solchen Calorie versteht man jene Wärmemenge, welche $1 g$ (bezw. $1 kg$) Wasser bedarf, damit dessen Temperatur von 0 auf 1°C. erhöht wird.

Da das mechanische Wärmeäquivalent [1]) = 424 ist, d. h.

$$1 \text{ Cal. } kg = 424 mk \text{ ist, so ist auch}$$
$$1 \text{ Cal. } kg = 424 \,.\, 9{\cdot}81 \text{ Joule.}$$

Aus den vorstehenden Ableitungen ersieht man, dass beim absoluten Maßsysteme für die praktisch gebräuchlichen Einheiten doch wieder Vielfache derselben, also eigentlich wieder willkürliche Einheiten gewählt worden sind. Indess hat dieses System den großen Vorzug, dass der Zusammenhang der Größen untereinander gewahrt ist, was sich insbesondere bei den später abgeleiteten, magnetischen und elektrischen Einheiten günstig fühlbar macht.

Mit Bezug auf die Größenarten dieser letzteren Einheiten sei hier noch einleitend erwähnt, dass aus praktischen Gründen in der Elektricitätslehre zweierlei Maßsysteme gebraucht werden, welche ebenfalls absolute genannt werden. Es ist dies das elektrostatische und das elektromagnetische Maßsystem.

Das erstere geht bei der Ableitung der Einheiten von solchen Erscheinungen aus, welche die im Gleichgewichtszustande befindlichen Elektricitätsmengen betreffen; das letztere benützt zu seiner Entwicklung die Wechselwirkung zwischen einem Magnet und dem elektrischen Strome. Dieses letztere System ist auch der Ausgangspunkt für das sogenannte praktische elektrotechnische Einheitssystem geworden, welches den einzelnen Maßeinheiten zu ihrer Unterscheidung die Namen berühmter Physiker gegeben hat.

Das elektrostatische und das elektromagnetische Maßsystem differieren miteinander [2]).

---

[1]) $\frac{\text{Wärmeeinheit}}{\text{Arbeitseinheit}} = 424$ und $\frac{1 \text{ cal. } kg}{1 mk} = 424.$

[2]) Die elektromagnetischen Einheiten sind 3×10^{10} größer als die elektrostatischen Einheiten.

Zum Schlusse vorstehender Erörterungen über das absolute Maßsystem soll im nachfolgenden Beispiele eine praktische Nutzanwendung gegeben werden.

Ein Körper von $1 m^3$ Rauminhalt und von der Dichte 3 (z. B. ein Marmorblock) hängt an einem Drahtseil von $3 cm^2$ Querschnitt. Er soll $10 m$ hoch gehoben werden.

a) Masse. Im absoluten Maßsysteme ist $1 m^3 = 10^3 kg = 10^6 g$ Masse und bei der Dichte 3 ist $1 m^3 = 3 \,.\, 1.000 kg$ Masse.

Im mechanischen Maße ist $1 m^3 = \frac{3 \,.\, 1.000}{9{\cdot}81} \doteq \frac{3.000}{10} = 300$ mechanische Masseneinheiten.

b) Die Kraft, mit welcher die Erde dieses Gewicht anzieht, ist $3.000 kg$ (mechanische Einheiten).

Im absoluten Maße ist $P = 3.000 \,.\, 9{\cdot}81 \,.\, 10^5 \doteq 3.000 \,.\, 10^6$ Dyne. Die Belastung des Seiles pro cm^2 des Querschnittes ist $\frac{3.000}{3} = 1.000 \frac{kg}{cm^2}$ oder Atmosphären.

Im absoluten Maße aber: $\frac{3.000 \,.\, 10^6}{3} = 1.000 \,.\, 10^6$ Dyne.

c) Die Arbeit im mechanischen Maße ist $3.000 \,.\, 10 = 30.000 mk$, im absoluten $3.000 \,.\, 10^6 \,.\, 1.000 = 300.000 \,.\, 10^7$ Erg $= 300.000$ Joule.

d) Die Wärme, welche bei dieser Arbeitsleistung entwickelt wird, ist $\frac{3.000}{424} = 71 kg$-Cal. Wirkt sie durch 10 Secunden, so ist der Wärmeeffect $\frac{71}{10} \doteq 7.1 kg$-Cal. pro Secunde, d. i. jene secundliche Wärmemenge, welche theoretisch bei Annahme von Dampfarbeit für das Heben des Gewichtes, bei einem Dampfkessel zum Verdampfen des Wassers geleistet werden muss.

Die magnetischen Erscheinungen.

1. Grundbegriffe.

Körper, welche die Eigenschaft besitzen, Eisenstücke (Nägel, Späne etc.) anzuziehen und festzuhalten, nennt man Magnete oder magnetische Körper, die Eigenschaft selbst aber den Magnetismus. Den letzteren können die Körper entweder von Haus aus besitzen, natürliche Magnete, wie z. B. der Magneteisenstein, oder er wird den Eisenkörpern erst durch verschiedene Methoden der Magnetisierung verliehen, bezw. der Magnetismus oder der magnetische Zustand in den Körpern hervorgerufen, künstliche Magnete.

Fig. 2–6.

Die künstlichen Magnete sind die in der Praxis ausschließlich verwendeten Magnete, welche je nach ihrer Form eine verschiedene Bezeichnung führen. So gibt es nach den Fig. 2 bis 6 Stab-, Glocken-, Hufeisen-, Ringmagnete, Magnetnadeln u. s. f.

Bei der Untersuchung der Magnete haben sich [redacted] zweierlei Erscheinungen gezeigt, u. zw.:

1. Die Richterscheinung, welche darin besteht, dass ein frei aufgehängter oder in seiner Mitte unterstützter Magnetstab (Fig. 7 und 8) sich jedesmal in eine ganz bestimmte Lage, u. zw. mit einem Ende nach Norden, mit dem anderen nach Süden einstellt;

Fig. 7. Fig. 8.

2. dass zwei magnetische Stäbe auf einander anziehende und abstoßende Wirkungen ausüben können.

Nähert man einem frei aufgehängten Magnet das eine oder andere Ende eines zweiten Magneten, so wird der erstere Magnet angezogen oder abgestoßen. Ebenso zieht auch weiches Eisen beide Enden eines Magnetstabes an.

Aus diesen Erscheinungen hat man auf verschiedene Eigenschaften des Magnetismus geschlossen und hat deshalb auch zweierlei Magnetismen als vorhanden angenommen, welche mit Bezug auf die Richterscheinung als Süd- und Nordmagnetismus bezeichnet werden.

In der Praxis wird ersterer durch ein *S*, letzterer durch ein *N* bezeichnet; auch lässt man z. B. die Enden von Magnetnadeln verschieden färben (den Nordpol meist blau).

Da nun ein Magnet einen von ihm entfernt liegenden Eisenkörper anzuziehen, also eine Kraftäußerung auszuüben vermag, so ist die dem Magnet innewohnende magnetische Kraft eine fernwirkende. Dieselbe vermag auch durch nicht magnetisierbare Körper, wie z. B. durch Glas, Messing, Papier, Luft etc. hindurchzuwirken.

Fig. 9.

Die magnetische Kraft ist, wie die Erfahrung lehrt, nicht gleichmäßig über einem Magneten vertheilt. Legt man einen Magnetstab auf ein Papierblatt in Eisenfeilspäne und klopft man das Papierblatt leicht, so werden die Späne sich, wie die Fig. 9, 10 und 11 zeigen, anordnen. Die Anhäufung der Späne an den Enden des Magnetstabes, welche man üblich als Pole bezeichnet, ist nach Fig. 9 eine größere als in der Mitte, und folglich muss auch die anziehende Kraft des Magneten auf die Späne an den Polen eine größere als in der Mitte sein, in welcher fast gar keine Eisenfeilspäne liegen. Taucht man den Magnet direct in Eisenfeilspäne, so ordnen sich letztere an beiden Enden des Stabes (Fig. 9, 10, 11) in gleicher Weise

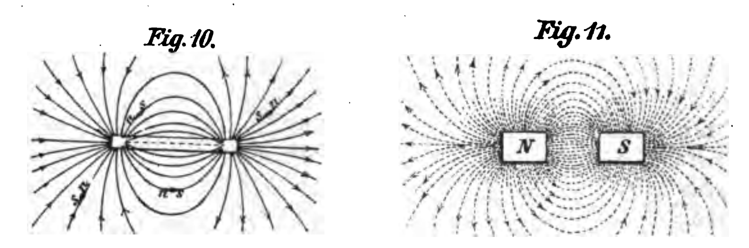


Fig. 10. Fig. 11.

rund um die Enden an. Die Wirkung eines Magneten nach außen ist sonach eine allseitige; sie ist am größten an den Polen, nimmt gegen die Mitte ab und ist in letzterer fast gar nicht mehr wahrnehmbar.

Für die Praxis denkt man sich gewöhnlich die fernwirkenden magnetischen Kräfte in einem Punkte am Ende des Magnetstabes concentriert und erhält hiedurch zwei entgegengesetzte, theoretische Pole, welche nach der Richtkraft der Magnete als Nord- und Südpol bezeichnet werden.

Mit Bezug auf die unter 2) angeführte Erscheinung ergeben sich nunmehr folgende Grundgesetze für den Magnetismus:

a) Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Ein Nordpol stößt sonach einen anderen ab, ein Südpol zieht einen Nordpol an. Dieses Gesetz gestattet unter Zuhilfenahme einer Magnetnadel, das Erkennen der Art des Magnetismus bei einem Magneten von unbekannter Polarität.

b) Je kräftiger ein Pol ist, umso kräftiger erfolgt die magnetische Einwirkung auf einen zweiten Pol. Diese Einwirkung nimmt im quadratischen Verhältnisse der Entfernung der aufeinander wirkenden Pole ab. (Coulomb'sches Gesetz.)

Aus der Richtkraft der Magnete ist man zur weiteren Annahme gezwungen, dass die Erde ebenfalls ein Magnet ist, dessen magnetische Pole in der Nähe der geographischen Pole (Nord, Süd) gelegen sind. Aus diesem Grunde erklärt sich auch, warum jedes Eisen durch den Einfluss des Erdmagnetismus stets etwas schwach magnetisch ist.

Um sich nun über den Unterschied zwischen magnetischen und nicht magnetischen Körpern, sowie über die Wirkung der ersteren eine Vorstellung zu machen, hat man bei der Unkenntnis der magnetischen Kraft und auf Grund mehrfacher Erscheinungen [1]) folgende hypothetische Annahme gemacht.

Zerbricht man z. B. einen Magnetstab in möglichst viele kleine Theile, so zeigt jeder kleinste Theil wieder magnetische Eigenschaften; er zeigt stets zwei Pole. Es ist unmöglich, ein Stückchen Magnet sich zu verschaffen, welches nur nord- oder nur südmagnetisch wäre. Sonach kann man annehmen, dass der Magnetismus dem kleinsten Theilchen anhaftet, welch' jedes für sich ein Magnet ist, und dass infolge dessen in einem Magnet ebensoviel Nord- wie Südmagnetismus vorhanden ist.

Fig. 12. 13.

Um den Unterschied zwischen nicht magnetischen und magnetischen Erscheinungen näher zu charakterisieren, nimmt man an, dass im unmagnetischen Zustande diese Theilchen regellos nach allen Richtungen gelagert sind, u. zw. so, dass sich die nord- und südmagnetischen Theile gegenseitig binden, sonach nach außen keine Wirkung ausüben werden (Fig. 12). Sobald jedoch infolge der Kraftäußerung einer magnetischen Kraft ein Körper magnetisch gemacht (magnetisiert) wird, werden die Elementarmagnete (Fig. 13) alle gleichgerichtet, d. h. derart in die Richtung der magnetischen Axe gedreht, dass die gleichnamigen Pole nach derselben Seite zu liegen kommen. Die entgegengesetzten Pole der hintereinander liegenden Molecularmagnete werden sich berühren. Infolge dieser Anordnung tritt nur an den Enden freier (d. i. nach außen wirkender) Magnetismus [2]) auf,

[1]) Mechanische Erschütterungen, Wärmewirkungen etc.

[2]) In jedem Magnet sind die mittleren Molecüle stärker magnetisch als jene an den Enden, was das Zunehmen des freien Magnetismus gegen die Enden erklärt.

während innerhalb der beiden Pole sich die entgegengesetzten Magnetismen gegenseitig aufheben werden (gebundener Magnetismus).

Hört die Magnetisierung, bezw. die Einwirkung der magnetischen Kraft auf, so werden bei jenen Körpern, welche eine solche zeitweilige Magnetisierung annehmen können (temporärer Magnetismus, wie z. B. beim weichen Eisen), die Elementartheile sich wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückdrehen, und der Körper verliert seinen Magnetismus, — allerdings oft nicht gänzlich.

Man ersieht aus Vorstehendem, dass die Elementarmagnete ihrer Bewegung einen Widerstand entgegensetzen (magnetischer Widerstand) und dass sonach zu ihrer Drehung eine gewisse Arbeit aufgewendet werden muss (Magnetisierungsarbeit), welche umso größer ist, je mehr Molecüle herausgedreht und je kräftiger die Molecüle in ihren neuen Lagen festgehalten werden sollen.

Vollends magnetisch würden nach dieser Annahme sonach nur jene Körper sein, bei welchen alle Molecüle in die bezeichnete Richtung gebracht werden. Solche Körper gibt es aber nicht, und es zeigt die praktische Erfahrung, dass über eine gewisse Grenze hinaus, bei allen bisher üblichen Methoden der Magnetisierung eine Steigerung des magnetischen Zustandes nicht mehr einzutreten vermag. Für diesen Fall bezeichnet man die Körper als bis zur Sättigung magnetisiert. Letztere Sättigung ist für verschiedene Substanzen verschieden; sie ist z. B. für weiches Eisen viel früher als für Stahl zu erreichen, aus welchem Grunde man auch weiches Eisen überall dort anwendet, wo man besonders kräftige Magnete erhalten will.

Da nun jeder Magnetpol nach außen anziehende oder abstoßende Kräfte äußert, so besitzt er auch einen gewissen Wirkungsraum, den man auch als „Feld“ seiner Wirkung bezeichnet (magnetisches Feld eines Poles[1]). Mit solchen Feldern hat man es in der Praxis nun ausschließlich zu thun (z. B. bei den Dynamomaschinen etc.).

2. Kraftlinien, magnetisches Feld.

Um sich über die Richtung, Größe und Wirkung der magnetischen Kräfte eine Vorstellung machen zu können, hat man Zuflucht zu einer symbolischen Darstellung derselben genommen, indem nach Faraday der Begriff der Kraftlinie in die Elektrotechnik eingeführt und darauf die sogenannte „Kraftlinientheorie“ gegründet worden ist, auf welche gegenwärtig in der Literatur, sowie in der Praxis alle Erklärungen über Magnetismus etc. bezogen werden.

Legt man, wie in der Fig. 10 und 11, auf die Pole eines Hufeisenmagnetes eine Glasscheibe oder ein Blatt Papier und bestreut sie mit feinen Eisenfeilspänen, so ordnen sich die kleinen Späne in besonderen Lagen (krummen Linien) an. Hiebei wird jedes kleinste Theilchen ein Magnet, welcher wieder auf das nächste Theilchen wirkt und dergestalt gewissermaßen die magnetische Kraft fortpflanzt. Eine Reihe solcher zusammenhängender Theilchen repräsentiert dann gewissermaßen die Richtung der magnetischen Kraft. Man bezeichnet

---

[1]) Siehe den Vergleich Seite 9.



eine solche Verbindung der Lagen der Eisenfeilspäne als „Kraftlinie"[1]) (magnetische Curve).

Diese Curven ordnen sich nun eigenthümlich je nach der Lage des Magneten an. Bei der Pollage, wie sie Fig. 11 zeigt, gehen die Kraftlinien büschel- oder strahlenförmig von jedem Pole aus. Beim geraden Stabmagnet (Fig. 10) ordnen sie sich derart, dass die Curven von einem Pol ausgehend, zum anderen übertreten und dieselben dann durch den Körper des Magneten geschlossen gedacht werden können. Symbolisch würden sonach bei jedem Magnetpol die Kraftlinien in die Luft austreten (Kraftlinienstreuung) und zum entgegengesetzten Pol zurückkehren.

Das Kraftlinienbild gibt zunächst Aufschluss über die Richtung der magnetischen Kraft, weiters aber auch über die „Stärke (Intensität) eines Feldes", denn es ist einleuchtend, dass je größer die Anzahl der Kraftlinien ist, die ein Pol auszusenden vermag, d. h. je mehr im Raume die nach außen wirkenden, magnetischen Kräfte sich verdichten, umso größer die Gesammtwirkung eines Magnetpoles oder seines Feldes an einer bestimmten Stelle desselben sein wird.

Die Stärke (Feldstärke, Intensität) eines magnetischen Feldes kann sonach durch die Zahl der Kraftlinien, welche pro Flächeneinheit ($1 cm^2$) des Feldes entfallen, ausgedrückt werden. Die Kraftlinienzahl ist proportional der Größe der magnetischen Kraft[2]).

Die Beschaffenheit der magnetischen Felder ist nunmehr eine verschiedene, u. zw.

a) nach der Disposition der Magnete und

b) nach ihrer Form und ihrer Erzeugungsweise.

---

[1]) Eine Analogie der in der Elektrotechnik vorkommenden, neueren Ausdrücke für die magnetischen Definitionen ließe sich durch den Vergleich mit anderen fernwirkenden Kräften (Schwerkraft, Wärme, Licht) geben.

Noch leichter wird die Orientierung, wenn man die Wirkung eines magnetischen Poles mit jener einer Mitrailleuse oder eines einschlagenden und explodierenden Geschosses vergleicht. Die Mitrailleuse hat ebenfalls einen äußeren Wirkungsraum, — ein „Schussfeld" (analog dem magnetischen Felde), als dessen Pol die Mündung (der Kopf) der Mitrailleuse aufzufassen ist, von welcher aus die „Geschossbahnen" (Kraftlinien der Pulverkraft) ausgehen. Auch die Geschossbahnen verlaufen strahlenförmig vom Mündungskopf und bilden eine Streugarbe (Kraftlinienstreuung), deren Wirkung am Ziele je nach der Natur des in's Schussfeld gebrachten Objectes, welches die Bahnen oder vielmehr die Geschosse in sich aufzunehmen bestimmt ist, verschieden sein wird. Je mehr Geschosse in die Flächeneinheit des Zieles gehen, umso größer ist die „Intensität des Feldes", welche umsomehr zunehmen wird, je näher das Ziel gegen die Mündung rückt. Anderseits wird die Intensität des Feldes auch umso größer sein, je größer die „Präcision" (analog je stärker der Magnetismus) ist. Man kann weiters die „Intensität der Magnetisierung" mit der „Intensität des Feuers" vergleichen und die „Trefferpercente" mit dem „magnetischen Sättigungsgrade", ferner den „Widerstand der Ziele", bezw. deren Materien mit dem magnetischen Widerstande u. dgl. m.

[2]) Von einem magnetischen Pol mit der Masse m gehen $Z = 4\pi m$ Kraftlinien aus. Denn denkt man sich um den Pol eine Kugel vom Halbmesser $r = 1 cm$ gezogen, so ist die Oberfläche 4π.

Nun wirkt die Masse m auf jede Masseneinheit auf der Oberfläche mit der Kraft $p = \frac{m \cdot m_1}{r^2} = \frac{m \cdot 1}{1} = m$, folglich ergeben sich pro cm^2 der Oberfläche m Kraftlinien. Enthält der Pol die Masse Eins, so kommt auf jeden cm^2 Fläche nur 1 Kraftlinie.

Man kann ad *a*) die Felder in einfache, d. s. solche mit nur zwei Magnetpolen, oder in zusammengesetzte, d. s. solche durch mehrfache Wiederholung des einfachen Feldes entstandene, unterscheiden.

Gleichförmige Felder sind solche, wo die Kraftlinien parallel und in gleichen Entfernungen von einander verlaufen (wie z. B. beim magnetischen Felde der Erde [1]), während bei ungleichförmigen Feldern dies nicht der Fall ist, sondern die Kraftlinien, wie die Fig. 10 zeigt, verlaufen.

ad *b*) Das magnetische Feld eines Stabmagneten zeigt die Fig. 10. Zur späteren Erläuterung der Wirkung dieses Feldes ist noch die Definition der Richtung der Kraft nothwendig. Als positive Richtung der Kraftlinien wird nun jene angenommen, nach welcher der Nordpol einer freibeweglichen Magnetnadel zeigen würde, die sich im magnetischen Felde befände. Die Kraftlinien gehen sonach im Felde (oder außerhalb des Magnetstabes) vom Nord- zum Südpol, während sie in den Magnetkernen die entgegengesetzte Richtung haben. Sie bilden in erster Eigenschaft geschlossene Linien.

Die Fig. 14 und 15 zeigen weiter das Feld zweier Stabmagnete, u. zw. Fig. 15 bei nebeneinander befindlichen, gleichnamigen Polen, Fig. 14 bei

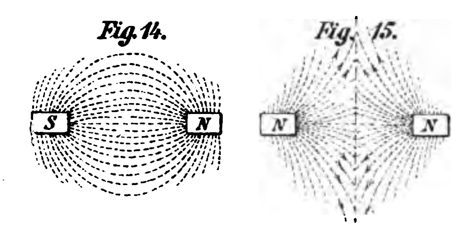


Fig. 14. Fig. 15.

ungleichnamigen Polen. Im ersten Falle stoßen sich die Kraftlinien ab, im zweiten Falle nähern, verdichten sie sich. Hieraus folgt auch die zweite Eigenschaft der Kraftlinien, dass gleichgerichtete Kraftlinien sich abstoßen, ungleichgerichtete sich anziehen.

Beim geschlossenen Systeme bekommt man nach außen keine magnetische Kraft, und ~~ebenso wird, wenn man ein Eisen auf die Pole,~~ diese verbindend legt, die Kraft des Magneten nach außen geschwächt.

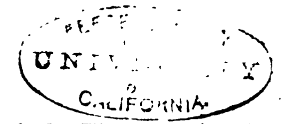
Beim Ringmagnet (pollosen Magnet) kann jeder Punkt als ein Nord- oder Südpol zu gleicher Zeit angesehen werden, welche so nahe nebeneinander stehen, dass ihre Kräfte sich gegenseitig aufheben. Die Kraftlinien verlaufen im Innern des Ringes und besitzen in allen Theile die gleiche Anordnung. Den Verlauf der Kraftlinien bei den Feldmagneten einer Dynamomaschine zeigen die Figuren im Abschnitte „elektrische Maschinen“.

3. Wirkung magnetischer Felder.

Hinsichtlich der Wirkungen der Felder an sich ist Folgendes zu bemerken:

Ein weiches Eisen A (Fig. 16 und 17) in ein magnetisches Feld NS gebracht, wird magnetisch. Es erleidet hiebei eine ähnliche Veränderung, wie eine

[1]) Für dieses sind bei der großen Ausdehnung der Erde für einen Ort alle Kraftlinien als parallel anzunehmen.



solche z. B. die Wärme hervorruft. Denn ebenso, wie der Eisenstab A, z. B. von einer in N befindlichen Wärmequelle gleichsam infolge Durchdringens von Wärmestrahlen erwärmt würde, so wird anderseits das Eisen durch das Durchdringen der vom magnetischen Feld ausgehenden Kraftlinien magnetisiert. Man nennt diese Eigenthümlichkeit Kraftlinien in sich aufzunehmen, oder im Eisen dessen magnetische Polarität zu erregen, die magnetische Induction (Vertheilung), u. zw. deswegen, weil die Magnetismen der Theilchen jetzt so gedreht (vertheilt) werden, dass sie dem Gesetze der Anziehung und Abstoßung folgen.

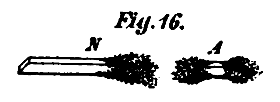


Fig. 16.

Betrachtet man das Feld in der Fig. 17, so sieht man, dass die Kraftlinien vor dem Pol N sich verdichtet oder zusammengelegt haben. Ihre Zahl hat sich vermehrt, und deshalb verstärkt das weiche Eisen A das Feld an dieser Stelle. Diese Wirkung ist umsomehr größer, je näher das Eisen dem Pole zu liegen kommt, oder je kleiner die Entfernung zwischen dem Pol und Eisen ist.

Beim Hohlring A (Fig. 18) weichen die Kraftlinien dem Hohlraume aus und gehen im Ringe herum. Bringt man daher einen magnetischen Körper in den Hohlraum des Ringes, so wird die Wirkung des Magneten auf diesen Körper geschwächt. Man bezeichnet dies als magnetische Schirmwirkung des Eisens (magnetischen Schatten).

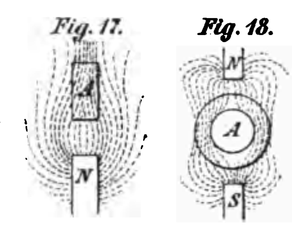


Fig. 17. Fig. 18.

Nimmt man nun statt des weichen Eisens Gusseisen, so sind die Veränderungen der Kraftlinienbahnen, wie in Fig. 17 gezeichnet, nicht mehr so stark, wie beim weichen Eisen.

Würde man Messing, Holz, Ebonit etc. nehmen, so würden bei diesen nicht magnetischen Körpern keine Veränderungen der Bahnen eintreten.

Man kann aus Vorstehendem sonach ersehen, dass verschiedene Körper ein verschiedenes Verhalten gegenüber den Wirkungen der Kraftlinien aufweisen, sie also eine verschiedene Durchdringlichkeit (Permeabilität) oder Leitungsfähigkeit für Kraftlinien besitzen. So hat z. B. Eisen eine etwa 720mal größere Leitungsfähigkeit als die Luft, welche ebenfalls ein Leitungsvermögen (= 1) für magnetische Kraftlinien besitzt. Man hat auch den umgekehrten Wert dieser Leitungsfähigkeit als „specifischen magnetischen Widerstand" bezeichnet und es muss daher die Luft offenbar einen größeren magnetischen Leitungswiderstand für Kraftlinien, wie das Eisen besitzen.

Körper, bei welchen die magnetische Kraft einen hohen Grad einer Magnetisierung erzeugt, besitzen einen großen „Magnetisierungs-Coëfficienten" (große magnetische Empfänglichkeit). Ist z. B. dieser letztere für Schmiedeeisen angenommen = 33, so ist jener für Gusseisen 23, für weichen Stahl 22, für harten Stahl 17; — folglich braucht harter Stahl einen größeren Arbeitsaufwand zur Magnetisierung, als weiches Eisen.

Nach Thomson wird die Intensität der Magnetisierung zahlenmäßig durch das Verhältnis der erzeugten Feldstärke H zum Querschnitt Q des

Eisens, also $\frac{H}{Q} = B$ angegeben. B wird als „magnetische Induction“ bezeichnet [1]).

Je größer nun die Leitungsfähigkeit der Körper für Kraftlinien ist, umso leichter werden dieselben wieder entmagnetisiert, d. h. desto rascher verlieren sie den Magnetismus mit dem Verschwinden des Feldes, oder mit dem Entfernen der Körper vom Magneten.

Indess zeigt die Erfahrung, dass Stahl oder Gusseisen den Magnetismus nicht sofort verlieren, sondern infolge größerer Trägheit oder größeren Widerstandes der gedrehten Molecüle die magnetischen Eigenschaften beibehalten, während weiches Eisen, welches rascher magnetisiert wird als Stahl oder Gusseisen, seinen Magnetismus sofort mit der Entfernung des Magneten, u. zw. umso vollständiger verliert, je reiner das Eisen ist.

Infolge dieser Erscheinung eignen sich insbesondere erstere Materien (vornehmlich harter Stahl) sehr gut zur Darstellung sogenannter permanenter Magnete, während weiches Eisen dort verwendet wird, wo temporärer (zeitlicher) Magnetismus geschaffen werden soll und wo es sich z. B. um ein rasches Magnetisieren und Entmagnetisieren handelt, wie dies bei den Wechselstrommaschinen, Telegraphenapparaten u. dgl. m. gefordert werden muss. Vollständig verliert das einmal magnetisierte, weiche Eisen den Magnetismus jedoch fast nie, sondern behält immer einen geringen Theil zurück, welchen man als remanenten (zurückbleibenden) Magnetismus bezeichnet (Magnetischer Rückstand). Derartige remanente Wirkungen sind in der Praxis: beim Maschinenbau, bei Telephonconstructionen etc. stets zu berücksichtigen.

4. Messen der magnetischen Felder.

Will man nun die Stärke der magnetischen Felder oder ihre Kraftwirkung messen, so hat man, je nach der Natur der Magnete, verschiedene Mittel.

Da beide Pole dieselbe anziehende oder abstoßende Wirkung auf magnetische Massen ausüben, bezieht man sich hiebei immer nur auf einen Pol und spricht daher immer von der Polstärke [2]). (Vertheilung des freien Magnetismus an den Polen.)

Für permanente Magnete kann man zum Messen ihrer Kraftwirkung benützen:

a) Die Tragkraft, d. i. die anziehende Kraft auf einen Anker. Diese wird durch jenes Gewicht gemessen, welches eben hinreicht, den angezogenen Anker vom Pol abzureißen. Durch Nebeneinanderlegen mehrerer permanenter Magnete kann man die Tragkraft verstärken (magnetisches Magazin).

---

[1]) Siehe auch die beim „Elektromagnetismus“ gegebene Darstellung.

[2]) Darnach hat man zum Messen einen Einheitspol fixiert, d. i. ein solcher, welcher einen gleichen Pol in der Entfernung von 1*cm* mit der Kraft einer Dyne abstosst.

b) Die Wirkung eines Magneten auf einen anderen, z. B. eines Stabmagneten auf eine Magnetnadel. Eine Magnetnadel in ein magnetisches Feld von der Intensität H gebracht, wird sich derart drehen, dass ihre magnetische Axe mit jener des Feldes zusammenfällt, sie also tangential zur Kraftlinie L (Fig. 19) steht. Das Drehmoment $M = l . H$, welches auf die Pole $N S$ der Magnetnadel von der Länge l ausgeübt wird, heißt das magnetische Moment. Die Größe desselben hängt von verschiedenen Umständen (Vertheilung des freien Magnetismus an den Polen von der Form und Anordnung der Magnete) ab, wie dies auch später erörtert wird.

Fig. 19.

5. Arten der Magnetisierung.

Schon an früherer Stelle wurde bemerkt, dass Eisen in der Weise magnetisiert werden kann, dass man es in ein magnetisches Feld bringt, — d. i. also durch Vertheilung. In der Praxis legt man hiezu Stäbe aus möglichst hartem (Wolfram-) Stahl derart auf die Pole eines Magneten, dass sie einen Anker bilden. Hiebei erschüttert man die Stäbe, und schiebt sie hin und her.

Bei kleinen Stäben genügt das Annähern an starke Magnetpole, oder man streicht jede Hälfte des Stabes mit einem anderen Pole eines Magneten (Streichmethode). Da permanente Magnete allmählich ihren Magnetismus verlieren, so sind sie zeitweilig nachzumagnetisieren (z. B. jene bei den Telephonen). Erschütterungen, Stöße etc. beschleunigen den Verlust an Magnetismus. Durch entsprechendes Nebeneinanderlegen zweier Magnete, oder durch ein Ausglühen kann ein Magnet vollständig entmagnetisiert werden.

Die elektrischen Erscheinungen.

I. Allgemeines.

1. Elektrischer Zustand.

Durch gewisse Vorgänge (z. B. durch Reibung) kann man in bestimmten Körpern die Eigenschaft hervorrufen, andere leichte Körper (wie an Seidenfäden aufgehängte Hollundermarkkugel, Papierschnitzel u. dgl. m.) anzuziehen und gleich wieder abzustoßen. Eine solche Eigenschaft zeigt z. B. ein Glasstab, wenn man ihn mit Leder, oder aber ein Hartgummistab, wenn man ihn mit einem Tuchlappen reibt. Beide Stäbe sind durch das Reiben elektrisch geworden; sie sind mit Elektricität geladen, bezw. die letztere ist auf ihnen erzeugt worden.

Analog, wie Glas und Hartgummi, werden durch das Reiben auch noch andere Materien, wie z. B. Siegellack, Harz, Bernstein, Holz, Metalle, Luft, Wasserdampf, elektrisch, während andere Körper diese Eigenschaft nicht zeigen, also unelektrisch sind.

Die Untersuchung der vorangedeuteten, anziehenden und abstoßenden Wirkung elektrischer Körper hat — ähnlich wie beim Magnetismus, — auch

hier dazu geführt, zwei verschiedene elektrische Zustände, oder zwei Arten von Elektricitäten anzunehmen, welche man als positive (Glas-) und negative (Harz-) Elektricität benannt hat. Erstere bezeichnet man gewöhnlich mit dem (+), letztere mit dem (—) Zeichen.

Lässt man z. B. eine geriebene Glasstange (Fig. 20) auf eine aufgehängte Hollundermarkkugel g einwirken, so wird diese angezogen und sogleich abgestoßen; jede weitere Annäherung mit dem Glasstabe hat nur ein Abstoßen (Entfernen) der Kugel zur Folge. Nähert man aber jetzt der Kugel einen Hartgummistab, so wird dieser sofort die Hollundermarkkugel anziehen und nachher abstoßen. Beim Wiedernähern mit dem Hartgummistab ergibt sich nur ein Abstoßen, während mit dem geriebenen Glasstabe bei dessen Annäherung ein Anziehen bewirkt wird. Dieselbe Wirkung zeigt sich, wenn zwei an Seidenfäden aufgehängte Markkügelchen g und r, u. zw. einmal beide mit +, dann mit — Elektricität geladen werden; sie stoßen sich in diesem Falle ab. Wird aber das eine Kügelchen (+), das zweite (—) geladen, so ziehen sie sich an.

Fig. 20.

Aus dem vorgeschilderten einfachen Experiment folgt das elektrische Grundgesetz: „Gleichartige Elektricitäten stoßen sich ab, ungleichartige ziehen sich an".

Die Experimente zeigen ferner, dass die Elektricität mit einer gewissen Kraft (der elektrischen Kraft) und auf eine gewisse Entfernung hin wirkt, daher sie ebenfalls als eine fernwirkende Kraft [1]) bezeichnet wird.

Keine der vorbezeichneten zwei Arten der Elektricität wird aber für sich allein erregt; sondern es wird immer eine gleiche Menge beider Arten von Elektricität erzeugt, was durch Experimente bewiesen werden kann. Anderseits bewirken gleiche Mengen verschiedener Elektricität, welche einem Körper mitgetheilt werden, einen unelektrischen Zustand desselben. Sie neutralisieren sich derart, dass der Körper keine Elektricität mehr zeigt.

Die Ursachen der Elektricität sind noch unbekannt. Man hat, um die Wirkungen der Elektricität zu erklären, verschiedene Annahmen (Hypothesen) gemacht, bei welchen man theils von der Voraussetzung zweier, unwägbarer, elektrischer Flüssigkeiten, oder von nur einer solchen ausging (Zwei- und Ein-Fluida-Theorie), theils, wie in neuerer Zeit, die besonderen Zustände der Molecüle der Körper oder des diese Körpermolecüle umgebenden Äthers als Ursache der Elektricitäts-Erzeugung annahm. (Moleculartheorie.) Keine derselben ist jedoch bis jetzt bewiesen worden.

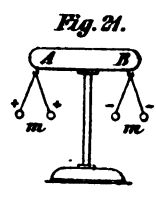
2. Leiter und Isolatoren.

Aus dem obenangeführten Experiment mit dem Kügelchen kann man ersehen, dass auf dem Kügelchen durch „Mittheilung" (Berühren mit dem Glasstabe) Elektricität aufgebracht, dieses also mit Elektricität versehen oder „geladen" worden ist. Anderseits kann man durch Berühren mit der Hand

[1]) In Wirklichkeit ist eigentlich nur die Gravitation eine fernwirkende Kraft. Die Elektricität scheint nach neueren Forschungen durch Schwingungen des Äthers hervorgerufen zu werden.

die dem Kügelchen mitgetheilte Elektricität wieder wegnehmen, oder dasselbe „entladen“. Ähnlich nun, wie das Hollundermarkkügelchen können auch andere Körper, wie z. B. die in Fig. 21 gezeichnete Metallröhre *A B*, Elektricität aufnehmen, wobei, wie das Eperiment zeigt, die angehängten Markkügelchen *m* ausschlagen werden. Dies ist ein Beweis, dass die Elektricität sich auf der Metallröhre ausgebreitet (vertheilt) hat und durch die Fäden in die Kügelchen übergangen oder geleitet worden ist. Man nennt solche Körper, welche imstande sind, die Elektricität fortzuführen, durch sie hindurch fließen zu lassen, Leiter der Elektricität oder Conductoren. Je nachdem sie hiebei die Elektricität gut (schnell) oder schlecht (langsam) leiten, spricht man auch von guten Leitern (z. B. Metalle, menschlicher Körper, Wasser), oder von Nichtleitern, Isolatoren (z. B. Glas, Schwefel, Paraffin, Luft, Seide).

Fig. 21.



Will man die Elektricität aufspeichern oder sammeln, so muss man die guten Leiter mit schlechten umgeben.

3. Die Elektricitätsquellen.

Als Elektricitätsquellen sind zu bezeichnen:

1. die Reibung zweier verschiedener Körper, welche stets eine elektrische Scheidung bewirkt, und bei welcher die Trennung der entgegengesetzten Elektricitäten hauptsächlichst von der molecularen Beschaffenheit der Oberfläche abhängt.

2. die Vertheilung oder die Induction (Influenz). Ein elektrisierter Körper übt auf einen nicht elektrisierten Körper trennend in Bezug auf die in jedem Körper vorhandenen zwei entgegengesetzten Elektricitäten ein, u. zw. in der Weise, dass der nicht elektrisierte Körper sich an seinen beiden Enden, wie ein elektrischer Körper verhält. Wird z. B., wie in Fig. 22, einer isolierten Metallröhre *A B* ein geriebener Glasstab *G* in die Nähe gebracht, so macht dieser die Röhre elektrisch, was durch den Ausschlag der kleinen Hollundermarkkügelchen *m* bewiesen werden kann, welche man an die Enden der Röhre aufhängt.

Die Untersuchung der Art der Elektricität würde hiebei zeigen, dass das dem Glasstabe nähere Ende, eine Ladung (—) Elektricität, das entgegengesetzte Ende eine Ladung (+) Elektricität besitzt; während in der Mitte der Röhre *A B* keine Elektricität zu finden ist. Diese, die Elektricität vertheilende Einwirkung findet noch auf eine beträchtliche Entfernung des Stabes *G* von der Röhre *A B* statt.

Fig. 22.

Entfernt man den Glasstab *G* vollständig, so verschwinden beide Elektricitäts-Ladungen und lassen keine Spur von Elektricität in der Metallröhre zurück. Nach Vorstehendem sieht man, dass bei der elektrischen Induction oder Vertheilung eine Trennung der entgegengesetzten Elektricitäten und eine Bewegung derselben gegen die Enden der Röhre eintritt. Die Größe der Ladung an den beiden Enden hängt einerseits von der Stärke der vertheilenden Kraft und von der Entfernung, anderseits aber auch von dem Zwischenmittel zwischen dem

Glasstabe und der Metallröhre ab. Dies kann durch die Größe des Ausschlages der Kügelchen sichtbar gemacht werden.

Das Princip der elektrischen Vertheilung erklärt nun nach Vorigem, warum ein nicht elektrischer Körper angezogen und sodann abgestoßen werden muss.

Würde man das abgewandte Ende *B* der Röhre in Fig. 22 mit der Erde leitend verbinden, also eine „Erdleitung" oder Ableitung zur Erde herstellen, so würde die abgestoßene (+) Elektricität zur Erde abgehen (freie Elektricität), während die (—) durch die entgegengesetzte Elektricität des Glasstabes auf der Röhre festgehalten wird (gebundene Elektricität). Unterbricht man die Erdleitung und entfernt gleichzeitig den Glasstab *G*, so wird sich die gebundene Elektricität auf der Röhre *AB* ausbreiten und die Röhre negativ elektrisch werden. In dem vorbesprochenen Falle wirkt also die Elektricität auf eine gewisse Entfernung und durch die Luft auf die Metallröhre ein.

Die vertheilende Wirkung ist aber quantitativ anders, wenn man ein anderes Zwischenmittel statt Luft, z. B. Paraffinöl, Schwefel etc. zwischen *G* und *AB* gebracht hätte; es würde die vertheilende Wirkung auf die Röhre größer, oder es würde mehr Elektricität in *AB* hervorgebracht werden.

3. Volta zeigte, dass bei der Berührung zweier ungleicher Metallplatten an ihren Oberflächen ebenfalls entgegengesetzte Elektricitäten erzeugt werden, indem die eine Oberfläche (+), die andere (—) elektrisch wurde. (Contactelektricität.) Ferner fand er, dass verschiedene, mit einander zur innigen Berührung gebrachte Metallplatten ein quantitativ verschiedenes, elektrisches Verhalten zeigen.

Nach Volta's Untersuchungen kann man die Metalle derart in eine Reihe (elektrische Spannungsreihe) ordnen, dass jedes Metall (+) elektrisch wird, wenn es mit dem anderen, in der nachfolgenden Reihe weiter rechts stehenden Metall in Berührung kommt: *Zn, Pb, Sn, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, C.* Die hiebei erzeugte elektrische Spannung ist verschieden; sie ist stärker, wenn z. B. Zink mit Kupfer, statt Zink mit Eisen zur Berührung gebracht wird [1]).

Ebenso, wie bei der Berührung zweier Metalle, wird auch bei der Berührung zweier Flüssigkeiten oder aber einer Flüssigkeit und eines Metalles, dann eines kalten Metalles mit einem heißen, Elektricität erzeugt. Im letzteren Falle bezeichnet man die erzeugte Elektricität als Thermoelektricität.

Durch Vervielfachung solcher vorangeführter Berührungen ungleicher Metalle können die elektrischen Wirkungen sich summieren und es kann sodann mehr Elektricität gewonnen werden. (Volta'sche Säule.)

4. Endlich kann im geringen Maße, durch Wärme, durch Stoß, Druck, Bruch, Verbrennung, wie durch Änderung des Aggregatzustandes (Verdampfen etc.) ebenfalls Elektricität erzeugt werden.

---

[1]) Nach Versuchen beträgt der Spannungswert zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Metallen in der obigen Reihe:
0·2, 0·07, 0·3, 0·4, zwischen *Cu* und *Pt* 0·24, zwischen *Pt* und *C* 0·113 Volt.

Ebenso besitzen verschiedene Thiere die Eigenschaft, durch gewisse Theile ihres Organismus elektrische Ladungen zu erzeugen.

Die Form, in welcher die Elektricität auf den Körpern vorkommt, ist nun eine zweifache — ruhende und strömende Elektricität —, und es sollen diese zwei Formen im Nachfolgenden nunmehr näher betrachtet werden.

II. Die statische Elektricität.

Dieselbe betrifft Ladungs- und Entladungsverhältnisse.

1. Oberflächendichte, Spannung.

Die Elektricität an einer Stelle eines Nichtleiters erregt, bleibt an der erregten Stelle oder verbreitet sich nur äußerst langsam auf der Oberfläche des Nichtleiters. Wird einem isolierten Leiter Elektricität zugeführt, so vertheilt sich diese sofort auf der ganzen Oberfläche. Hiebei zeigen die Experimental-Untersuchungen, dass die ruhende Elektricität (Ladung) ihren Sitz nur an der äußeren Oberfläche hat, während im Innern des Körpers keine Elektricität vorhanden ist. Dies erklärt sich aus dem Abstoßungsbestreben gleicher Elektricitätsarten und aus dem Leitungsvermögen des Körpers.

Weiters zeigen die Untersuchungen, dass die Elektricität sich nicht gleichförmig auf der Oberfläche der Körper vertheilt, sondern, dass an den Kanten, Ecken, an stärker gekrümmten Oberflächen mehr Elektricität sich befindet, als an den flachen Theilen der Körper. Um die Menge der Elektricität an irgend einem Punkte der Oberfläche relativ zu bezeichnen, hat man den Begriff der elektrischen Masse eingeführt. Hiezu muss aber noch jener der Mengen- (Massen-) Einheit festgelegt werden, der aus der abstoßenden Wirkung zweier gleichartiger elektrischer Massen bestimmt wird [1]).

Als Einheit der Elektricitätsmenge wurde nach der, Seite 13 gegebenen Definition, jene Menge (Masse) festgestellt, welche auf eine ihr gleiche Menge Elektricität, u. zw. derselben Art, bei einem gegenseitigen Abstande der beiden Massen von 1*cm* eine abstoßende Kraft Eins (Dyne) ausübt.

Die Zahl der elektrischen Einheiten pro cm^2 der Oberfläche bestimmt die Oberflächendichte (kurzweg Dichte) in einem Punkte, wobei eine gleichmäßige Vertheilung vorausgesetzt wird.

Infolge der abstoßenden Wirkung gleicher Elektricitätsarten wird ein gewisser Spannungszustand (die elektrische Spannung) auf der Oberfläche auftreten und es wird ein gewisser Druck erzeugt werden, mit welchem sich die Elektricität von der Oberfläche entfernen würde, wenn nicht das die Oberfläche umgebende Isolationsmittel (Luft etc.) die Elektricität zurückhalten würde.

---

[1]) Siehe die Erörterung Seite 3.

Die Dichte (oder Menge) einerseits, sowie die Spannung [1]) (oder das ihr zukommende Arbeitsvermögen) anderseits, definieren den Zustand einer elektrischen Ladung auf einer Oberfläche.

Die Elektricität, welche auf einem Leiter sich befindet, wirkt gleichmäßig nach allen Seiten und senkrecht zur Oberfläche des Leiters. Den Wirkungs- (Umgebungs-)raum eines Leiters heißt man sein elektrisches Feld. Dieses kann ebenso wie beim magnetischen Felde durch elektrische Kraftlinien dargestellt werden, deren Zahl pro Flächeneinheit des Feldes die Intensität (Stärke) desselben bestimmt. Als positive Richtung der elektrischen Kraftlinien wird jene Richtung bezeichnet, nach welcher durch die elektrische Kraft ein kleiner mit positiver Elektricität geladener Körper getrieben würde, wenn er frei beweglich wäre.

Um die Art eines Leiters nachzuweisen, gibt es bekannterweise die Elektroscope.

Die Elektrometer messen die Größe der elektrischen Ladung (Elektricitätsmenge). Es kann dies dadurch geschehen, dass man, um sich über die Größe einer Ladung Gewissheit zu verschaffen, das Potential misst, auf welches die Ladung eines Conductors von bekannter Aufnahmsfähigkeit diesen bringt — oder indem man die abstoßenden Kräfte misst, welche zwei Ladungen aufeinander ausüben, endlich durch Vergleich mit Ladungen von Condensatoren bekannter Aufnahmsfähigkeit.

2. Capacität. Verstärkungsapparate.

Die leitenden Körper vermögen nun die Elektricität in verschiedener Weise aufzunehmen.

Wird z. B. eine Kugel mit einer bestimmten Menge Elektricität geladen, so wird auf ihr eine gewisse elektrische Spannung [2]) erzeugt. Dieselbe Menge

---

[1]) Die Spannung drückt man auch üblich durch die Bezeichnung „Potential" aus, welches eigentlich einen rein mathematischen Ausdruck darstellt. Betrachtet man die abstoßende Wirkung der Masse m auf m_1 in Fig. 1, Seite 2; so würde, wenn m_1 keinen Widerstand fände, diese Masse in's Unendliche fortgetrieben werden. Wollte man nun umgekehrt m_1 der Masse m nähern, so müsste, um die abstoßende Wirkung von m zu überwinden, für m_1 eine gewisse Arbeit aufgewendet werden, welche umso größer sein wird, je näher m_1 an m zu bringen ist. Diese Arbeit ist aber offenbar ebenso groß als jene, welche geleistet wird, wenn m_1 in's Unendliche hinausgetrieben worden wäre. Man nennt nun als „Potential V in einem Punkte", jene Arbeit, welche aufgewendet werden muss, um die Einheit positiver Elektricität aus unendlicher Entfernung bis zu dem bestimmten Punkte zu bewegen.

Die Arbeit, welche zwischen zwei Punkten, die sich in der Entfernung r von einander befinden, geleistet werden müsste, heißt Potentialdifferenz. Die elektrische Kraft wird dieser proportional sein $P = \frac{V_1 - V_2}{r}$ (d. i. also die Zunahme pro Längeneinheit). Da man die elektrische Kraft nicht kennt, so führt man stets ihr Arbeitsvermögen in die Rechnung ein, ebenso wie man statt der Ursache die Wirkung gesetzt hat.

[2]) Über den Ausdruck „Spannung" gibt es verschiedene Auffassungen; man muss daher Acht haben, wie dieser Ausdruck gemeint ist. Er wird in verschiedener Weise gebraucht:

a) für die elektromotorische Kraft, was unrichtig ist,

nochmals, 3-, 4mal u. s. w. zugeführt, muss nothwendigerweise bei gleicher Oberfläche, die elektrische Masse pro Flächeneinheit und damit die elektrische Kraftwirkung nach außen um das 2-, 3-, 4-fache vermehren. Dies könnte so lange dauern, bis endlich der Druck so groß ist, dass das Dielektricum keinen Widerstand zu leisten vermag und ein Entweichen der Elektricität infolge zu hoher Spannung eintritt.

So ist beispielsweise die Grenze der möglichen Elektrisierung in trockener Luft erreicht, wenn die Dichte den Wert von 20 elektrischen Einheiten pro cm^2 erreicht. Wird ein Körper im höheren Grade elektrisiert, so entweicht die Elektricität in Form von „Funken“ und „Strahlenbüscheln“.

Die Aufnahmsfähigkeit oder das Fassungsvermögen für Elektricität bezeichnet man nun als die „elektrische Capacität“ des Körpers. Es ist einleuchtend, dass eine große Oberfläche relativ viel mehr aufzunehmen vermag (also eine große Capacität hat), als eine kleine, um denselben Zustandsgrad, d. i. dieselbe Vertheilung (Dichte und Spannung) herbeizuführen [1].

Wird eine große Elektricitätsmenge einem Leiter von geringer Capacität mitgetheilt, so wird derselbe auf eine hohe Spannung elektrisiert [2].

Es ist ferner einleuchtend, dass bei ungleicher Gestalt, dann bei verschiedenem Materiale die Capacität verschieden sein muss.

Man kann die elektrische Capacität von Leitern beträchtlich vergrößern, wenn der Leiter in die Nähe eines mit der entgegengesetzten Elektricität geladenen Conductors gebracht wird, wie dies z. B. bei den Verstärkungsapparaten (Condensatoren, Leidnerflaschen) geschieht.

Aus dem einfachen Experiment, Seite 15, hat man gesehen, dass durch den Glasstab *G* Elektricität auf der Metallröhre *AB* gebunden wird, welche wieder rückwirkend, die + Elektricität des Glasstabes festhält.

Durch erneuerte Elektricitätszufuhr zum Glasstab *G* kann eine neue Trennung der vorhandenen Elektricitäten in der Metallröhre erzeugt, und dadurch eine neue Anhäufung an den Enden der Röhre bewirkt werden. Dergestalt kann man die Elektricitätsmenge (am gebundenen Ende) vermehren oder verstärken, verdichten. Dasselbe geschieht nun auch bei den elektrischen Ansammlungsapparaten (bei der Leidnerflasche, dem Condensator, dem Elektrometer und bei sehr langen Kabelleitungen).

Solche Condensatoren bestehen in der Regel aus einer dielektrischen Schicht (Glas, Luft, Papier, Paraffin etc.), welche beiderseits mit Metallscheiben

---

b) für die Oberflächendichte (welche ein gewisses Arbeitsvermögen zu erzeugen vermag),

c) für das Potential (oder das Arbeitsvermögen) und

d) für die elektrische Kraft (welche aber die mechanische Kraft bedeutet, welche die Elektricität auf elektrische Körper ausübt), was ebenfalls unrichtig ist.

[1]) Vergleiche: Eine große Wassermasse in einem engen Gefäße erzeugt großen Druck, im weiten Gefäße kleinen Druck.

[2]) Man hat auch den Grad der Spannung zur Unterscheidung der Elektricitätsarten gewählt, und als positiv elektrische Körper jenen bezeichnet, der auf ein + oder hohes Potential, als negativ elektrischen Körper jenen, der auf ein niedriges (—) Potential elektrisiert ist. Als bequemen Vergleichspunkt hat man das Potential der Erde, die ja auch in gewissem Grade elektrisch ist, als „Nullpotential“ gewählt, von wo aus also die Unterschiede des elektrischen Potentials gemessen werden. (Wie man analog die Seeoberfläche als Nullpunkt für Höhenmessung wählt.)

(Zinnfolien) belegt wird. Erstere Schicht isoliert die elektrischen Ladungen der beiden Scheiben von einander. Eine Scheibe wird nun mit der Elektricitätsquelle (z. B. mit der Elektrisiermaschine), die zweite mit der Erde verbunden. Es wirkt sodann die (+) Ladung der einen Scheibe (z. B. der inneren Belegung der in Fig. 23 dargestellten Leydnerflasche) durch die Glasscheibe, (Luft, Paraffin) inducierend oder die Elektricität vertheilend auf die andere (äußere) Belegung der Leydnerflasche, stößt hiebei die + Elektricität zur Erde ab und lässt die negative auf der zweiten Platte zurück. Letztere bindet die (+) Ladung der ersten Platte, und es kann eine neue Elektricitätszufuhr auf der Glasscheibe statthaben, welche wieder vertheilend auf die zweite Scheibe wirkt. Die Dichte der Elektricität wird infolge der fortgesetzten Elektricitätsansammlung auf den Platten erhöht (verstärkt), was bis zu einer gewissen Grenze fortgesetzt werden kann.

Fig. 23.

Mit Bezug auf diese vertheilende, durch die Körper *hindurchwirkende* Eigenschaft der Elektricität verhalten sich die Körper (Glas, Ebonit, Luft etc.) verschieden. Man sagt üblich, diese Körper besitzen eine verschiedene „*inductive Capacität*“ (Vertheilungsfähigkeit). So ist z. B. Glas besser durchwirkend als Luft oder Paraffin. Nimmt man die Luft als Vergleichsmittel, so beträgt die „specifische, inductive Capacität“ der anderen Körper z. B. des Glases 3-, des Paraffins 2-, der Guttapercha 2·5-, des Petroleum 2-, des Terpentin 2mal soviel als jene der Luft. Man nennt derartige Körper nach dieser vertheilenden Eigenschaft *dielektrisch*.

Alle dielektrischen Körper sind Isolatoren, aber umgekehrt sind nicht alle Isolatoren gute Dielektrica.

Durch die Inductionskräfte der anziehenden oder abstoßenden Ladungen werden die Dielektrica gespannt; überschreitet die spannende Kraft eine bestimmte Grenze, so geben die Körper nach, sie werden durchbrochen. Hierauf bezugnehmend, hat man in neuerer Zeit angenommen, dass die elektrische Kraft gewissermaßen durch den Raum *mechanisch* hindurchwirkt, u. zw. infolge der Übertragung spannender Kräfte in das einen Trennungsraum erfüllende Mittel.

Diese spannenden Kräfte beziehen sich auf die Druck- und Zugkräfte des Äthers, welcher die Molecüle umgibt und den Molecülen die elektrische Spannung mittheilt. Letztere übt dann eine mechanische Wirkung aus. (Versuche von *Faraday* über elektrische Expansion, Ausdehnung der Leydnerflasche, Zusammenziehung gewisser Substanzen etc.)

Die Capacität eines Condensators hängt von der Oberfläche der Metallbelege, von der Dicke und inductiven Capacität der dielektrischen (trennenden) Körper ab.

Will man eine Capacität *messen*, so ist die Annahme einer Einheit nothwendig. Als solche wird jene Elektricitätsmenge bezeichnet, welche einem Conductor zugeführt (mitgetheilt) werden muss, damit derselbe imstande sei, die Spannung (das Potential) der aufgebrachten Elektricität um die Einheit zu erhöhen.

Als Einheit (im elektromagnetischen Maße) nimmt man das „*Farad*“ an, d. i. jene Capacität, welche der Conductor hat, wenn er durch eine Ladung

von der Mengeneinheit (1 Coulomb) auf eine Spannung von 0 auf 1 Volt [1]) gebracht wird. Da dieses Maß zu groß ist [2]), hat man den 10^6 Theil, das „Microfarad", als übliche Capacitätseinheit gewählt. (Beispielsweise besitzt ein drei Meilen langes atlantisches Kabel eine Capacität von 1 Microfarad.)

Die Messung der Capacität erfolgt durch Vergleich mit Normalcondensatoren.

Hinsichtlich der Dauer des elektrischen Zustandes sei noch erwähnt, dass aus der Ausbreitung der Elektricität auf alle Körper sich die verhältnismäßig kurze Dauer des elektrischen Zustandes auf den von der Luft umgebenden Körpern erklärt. Die Elektricität verbreitet sich vom elektrischen Körper in kürzerer oder längerer Zeit auf alle benachbarten Körper und schließlich auf die ganze Erde. Dieses Abfließen der Elektricität wird hiebei durch etwa vorhandene Spitzen, Kanten u. s. w. begünstigt.

3. Entladungserscheinungen.

Da die Vertheilung durch ein nicht leitendes Medium stets von einer mechanischen Spannung des Mittels begleitet ist, kann durch fortgesetzte Elektricitätsansammlung diese Spannung so groß werden, dass das isolierende Mittel trotz seines großen Widerstandes plötzlich nachgibt und eine Entladung in Form eines Funkens in Begleitung von Wärmewirkungen auftritt. (Funken- oder discontinuierliche Entladung.) Geht die Elektricität durch einen leitenden Körper (Draht, Platte), so breitet sie sich nicht längs einer Linie, sondern im Körper des Leiters aus, fließt also durch dessen Masse; man hat in diesem Falle die Entladung durch Leitung.

Endlich kann man noch eine dritte Form der Entladung unterscheiden, wenn nämlich Elektricität von hohem Druck sich an einen mit einer Spitze versehenen Conductor entladet (convective Entladung in Gasen).

Die Wirkungen solcher Entladungen sind wesentlich verschieden; sie können mechanische, chemische, physiologische, magnetische Veränderungen, Wärme- und Lichterscheinungen herbeiführen. Die mechanischen bestehen im Zertrümmern und dem Durchbohren von Glas, Holz, Isolatoren etc., wie dies bei der Funkenentladung der Fall ist.

In Bezug auf die chemische, ebenso wie hinsichtlich der Wärmewirkungen sind alle Arten der Elektricitätsentladung gleich. Die physiologischen Wirkungen bestehen in Erschütterungen, Geschmacks- und Lichtempfindungen, Muskelzusammenziehungen etc. Dieselben können bei hoher Spannung (2.000 Volt) und genügender Quantität direct tödtlich sein. Die Lichtwirkungen sind verschieden. Bei Funkenentladungen erscheint gewöhnlich ein glänzender Lichtstreif (Linie); dieser nimmt bei großer Funkenlänge eine Zickzackform, oft aber Verästlungen an. Ferners erscheinen je nach der Art des Conductors die Entladungen in Büschelform, als Glimmlicht, als „dunkle" Entladungen u. s. w.

---

[1]) Siehe Seite 44 und 52 die Definitionen eines Coulomb und Volt.

[2]) Die Capacität einer Kugel vom Radius $9 \times 10^{11} cm$ beträgt 1 Farad. Die Erde (mit 6.370 km Radius) hat sonach noch nicht die Capacität eines Farad.

Das Arbeitsquantum, welches bei Elektricitätsentladungen geleistet wird, ist durch das halbe Product aus der Elektricitätsmenge und der Spannung bestimmt. Diesem Arbeitsquantum äquivalent ist die entwickelte Wärme.

Zum Schlusse dieser Erörterungen über Elektrostatik sei noch die elektrische Entladung der Atmosphäre und die elektrische Zündung kurz erwähnt.

4. Blitzableiter.

In den Regenwolken finden sich oft bedeutende Mengen freier Elektricität von hoher Spannung angehäuft, welche vertheilend auf die gebundene Elektricität der Erdoberfläche wirken. Die den Wolken gleichartige Elektricität wird abgestoßen, die ungleichartige angezogen, und letztere vertheilt sich vorzugsweise auf der Oberfläche jener Leiter, die sich in der Richtung der Wolken von der Umgebung mehr oder weniger abheben. Hiebei wird die an solchen Leitern angehäufte Elektricität umso größer sein, je ausgedehnter und zusammenhängender die Leitermassen sind.

Ist nun infolge der Fernwirkung der Gewitterwolken die elektrische Ladung eines Theiles der Erdoberfläche so stark geworden, dass die zwischen Wolken und Erde liegende Luftschichte einen plötzlichen Spannungsausgleich nicht aushalten kann, so tritt letzterer in Form des Blitzes auf, der erfahrungsgemäß zu jenem der Wolke zunächst befindlichen, leitenden Theil der Erdoberfläche überspringt, welcher die Ausbreitung der Elektricität nach dem Erdinnern, infolge geringen Widerstandes, vermittelt.

Ist aber der Widerstand, welchen die gewaltige Elektricitätsentladung findet, stellenweise zu groß, um einen gleichmäßigen, unschädlichen Abfluss zur Erde zu ermöglichen, so treten beim Blitzschlag mechanische Zerstörungen, eventuell Zündungen auf, welche je nach der Beschaffenheit des Materiales und Dauer der Entladung verschieden sind (warme und kalte Blitzschläge).

Ferner können, wenn auch im geringeren Maße Gefahr bringend, Vorgänge bei Gewitterbildungen eintreten, welche auf der Erdoberfläche ebenfalls unter blitzartigen Erscheinungen sich abspielen.

Es sind dies die sogenannten Rückschläge, welche *a*) durch plötzliches Rückfließen der, unter der Fernwirkung einer Wolke innerhalb eines Leiters geschiedenen Elektricitätsmasse, in dem Momente entstehen, wo die Ladung der Wolke durch irgend eine Ursache oder durch anderwärtigen Ausgleich aufgehoben wird. Ferner, welche *b*) durch Induction in mehr oder weniger geschlossenen Leitungskreisen entstehen können. Es entwickeln sich nämlich secundäre Ströme, welche bei der gewaltigen Kraft der Ursache, an den Unterbrechungsstellen etc., zu gefährlichen Funkenbildungen und sonstigen blitzartigen Erscheinungen Anlass geben.

Die Größe der Blitzgefahr für Gebäude hängt ab: von der örtlichen Lage zu den Wolken, von der Eigenart der Gebäude (ob große Metallmassen vorhanden sind oder nicht), von der Beschaffenheit des Baumateriales und von der Lage der Gebäude zu benachbarten guten Ableitungen (Nähe von Wasser etc.). Sie wird insbesondere für Gebäude, wo Explosionen (Pulvermagazine etc.) entstehen können, von besonderer Wirkung sein.

Um nun den verderblichen Wirkungen der atmosphärischen Entladungen möglichst zu begegnen, wendet man „Blitzableitungen" an.

Diese sind in ihrer Form und ihrem Systeme nach verschieden.

1. Das älteste System der Blitzableiter ist jenes nach Franklin (oder Gay Lussac), welches in der Anordnung einer oder mehrerer Auffangstangen (Fig. 24) besteht, die mittels starken Luftleitungen an einzelnen Erdleitungen von großer Flächenausdehnung angeschlossen, bezw. zum beständigen Grundwasser geführt sind.

Fig. 24.

Diesem steht gegenüber:

2. das System nach dem Principe von Faraday, nach welchem die Gebäude thunlichst mit einem Metallnetze, gebildet aus einer großen Anzahl von Leitungen überzogen werden, die an eventuell vorhandene Erdleitungen, oder bei sehr verzweigten Systemen an eventuell vorhandene Gas- und Wasserleitungen angeschlossen werden.

Hiedurch entsteht (analog einem Faraday'schen Netze) eine das Gebäude umschließende Schutzhülle aus zahlreichen Leitungsdrähten. (Princip des Oberflächenschutzes.) Letzteres System, welches große Vortheile besitzt, lässt sich aber aus praktischen Gründen oft nicht anwenden, so dass in neuester Zeit Abänderungen beider Systeme, u. zw. im Sinne einer vermittelten Richtung, (d. h. eines aus wenig Leitungen bestehenden, das Gebäude umschließenden Leitungsnetzes, Fig. 25) sich ausgebildet haben.

Fig. 25.

Die Hauptbestandtheile jeder Blitzableitung bestehen aus:

a) der Auffangstange, *b*) der Luft- und *c*) der Erdleitung. Die beiden letzteren bilden zusammen die „Ableitung".

Die Leitung ad *b*) ist aus der Dach- und der Wandleitung zusammengesetzt, die Erdleitung enthält die Boden-(Tief-)leitung. Die Verbindung der einzelnen Leitungstheile untereinander geschieht durch entsprechende Muffen.

Als Bedingung guter Wirksamkeit einer solchen Blitzableitung ist zu zählen: Wahl eines gut leitenden Materiales, Continuität der Leitung und als wesentlichster Factor, sicherer Übergang aus der künstlichen in die natürliche (oder Erd-) Leitung.

Hinsichtlich der Details der Blitzableiteranlagen muss auf die entsprechenden, bei den Baubehörden erliegenden Instructionen verwiesen werden.

Sind, wie bei Geschoss- und Pulvermagazinen, große Eisenmassen in ein Gebäude eingeschlossen, deren Anschluss an die Blitzableiteranlagen aus vielfachen Gründen nicht möglich ist, so müssen solche Gebäude, um auch die Inductionswirkungen innerhalb der Metallmassen im Gebäude zu verhindern, ein vom Gebäude gut isoliertes Blitzableitersystem erhalten, welches dem Faraday'schen Netze entspricht.

Einen besonderen Anziehungspunkt für Blitzschläge bilden erfahrungsgemäß noch die elektrischen Luftleitungen von Telegraphen-, Telephon- und Lichtanlagen, welche selbst ohne directen Blitzschlag durch Inductionswirkung gefährdet werden können. Es sind daher für derlei Leitungen ebenfalls Blitzschutzvorrichtungen nothwendig, welche später näher beschrieben werden.

5. Die elektrische Zündung

findet in der Technik zur Vornahme von Sprengungen, zur Zündung explosibler oder verbrennbarer Gasgemenge (Gasmotoren) u. dgl. m. vielfach Anwendung. Bei der elektrischen Zündung soll durch die Wärmewirkung der Elektricität, die Zündmasse der in eine Zündleitung eingeschalteten Zünder auf jene Temperatur gebracht werden, welche dem Entzündungs- oder Verbrennungspunkte der angewendeten Masse entspricht. Dies kann bewirkt werden:

A. durch die Anwendung von Schließungsfunken — Funkenzündung — und

B. durch die Glühdrahtzündung.

Bei der Funkenzündung wird die Elektricität gezwungen, in einer Zündleitung ein oder mehrere Unterbrechungsstellen zu übersetzen. Dies bedingt die Anwendung hochgespannter Elektricität, wie solche von den Reibungs-Elektrisiermaschinen oder von den Inductionsapparaten [1]) geliefert werden kann. (Beispielsweise kann eine Reibungs-Elektrisiermaschine Spannungen bis zu 80.000 Volt liefern.) Die üblichen Zündmaschinen besitzen Spannungen von 2.000 bis 10.000 Volt.

Um die Wirkung dieser letzteren Generatoren oder Elektricitätserzeuger zu verstärken, wendet man meist noch Condensatoren an, die als Ansammlungsapparate für die Elektrisiermaschinen gelten.

Der von den Generatoren gelieferte, elektrische Funke wirkt nun nach zweifacher Richtung, u. zw. *a*) durch die directe Wärmeübertragung auf die Zündmasse, und *b*) durch die Hervorrufung mechanischer Impulse, indem der Funke Molecularbewegungen in den Explosivpräparaten herbeiführt.

In Bezug auf die vom Funken entwickelte Wärmemenge, bezw. deren Wirkung, wird diese nicht allein wesentlich von der Elektricitätsmenge pro Querschnitt (Stromdichte) und von der Spannung, sondern noch von der Form und von dem Material der Elektroden abhängig sein. Im allgemeinen wird die Funkenlänge oder Schlagweite des Schließungsfunkens der angewendeten Spannung innerhalb bestimmter Grenzen proportional sein.

Bei der Funkenzündung gibt es zweierlei Arten von Zünderformen, u. zw.:

α) die Spaltzünder und

β) die Brückenzünder.

Bei den Spaltzündern bekommt der im Zünderkörper verwendete, U-förmig gebogene und entsprechend isolierte Zuleitungsdraht einen feinen Spalt an der Biegungsstelle (Fig. 26) von etwa $^1/_{10}$ *mm*, welchen der elektrische Funke überspringt und durch seine Wirkung die den Draht umschließende Zündmasse zur Entzündung bringt.

Fig. 26, 27, 28.

Bei den Brückenzündern (Fig. 27) werden die Enden der in eine Isoliermasse gelagerten Zuleitungsdrähte mit der Oberfläche der Isoliermasse abgeschliffen, sodann wird durch einen kräftigen Bleistiftstrich zwischen den beiden Drahtenden eine leitende Verbindung hergestellt, in welche durch Einritzen ein feiner Spalt erzeugt wird, zwischen welchen der elektrische Funke überspringt. Da der zu überwindende Widerstand hier kleiner als bei den Spaltzündern ist, braucht man keine so hohe Elektricitätsspannung wie bei den Spaltzündern.

---

[1]) Siehe Seite 94.

Die Funkenzündung hat den Vortheil, dass viele hintereinander geschaltete Zündpatronen gleichzeitig genommen werden können, ferner dass diese Zündungsart mehr oder minder unabhängig vom Widerstande der Zuleitung ist, und endlich die Elektricitätsquellen leicht transportabel sind und kräftige Zündeffecte geben. Diese Zündmethode wird insbesondere in der Sprengtechnik, dann zum Abfeuern von Geschützen angewendet.

Die zweite Art der Zündung, nämlich die Glühdrahtzündung besteht darin, dass ein sehr dünner Draht durch eine, ihn durchlaufende continuirliche Elektricitätsentladung glühend wird und damit eine Zündung der ihn umschließenden Zündmasse herbeiführt.

Für diese Art der Umsetzung elektrischer in calorische Energie braucht man eine geringe Spannung, dafür aber eine relativ große Elektricitätsmenge, und es eignen sich daher als Elektricitätsquellen für die Glühdrahtzünder am zweckmäßigsten die galvanischen Elemente oder kleine, elektromagnetische Zündmaschinen.

Die in der Technik bisher üblichen Glühdrahtzünder bestehen aus einem Glühdraht (Platin- oder Eisendraht von 0·02 bis 0·05*mm* Durchmesser), und der diesen umgebenden Zündmasse. Als Zuleitungsdraht wird ein in einer Isoliermasse des Zünders gebetteter Metalldraht *a b* (Fig. 28) verwendet, dessen Enden durch den dünnen Glühdraht in Verbindung stehen.

Die Glühzündung hat den Vortheil, viele hinter- oder auch nebeneinander geschaltete Zünder verwenden zu können, gestattet überdies die Anwendung automatisch wirkender Zündvorrichtungen (Contactminen etc.) und gibt die Möglichkeit, sich vor dem Momente der Zündung von der Continuität der Zündleitungen überzeugen zu können. Sie wird bei Geschützabfeuerungen, Seeminenanlagen und in der Sprengtechnik verwendet.

III. Der elektrische Strom.

A. Allgemeine Begriffe.

1. Grundbegriffe. Elektromotorische Kraft.

Nach den Seite 14 gemachten Erörterungen besitzt jeder elektrische Körper zweierlei Elektricitäten. Treten nun Kräfte auf, welche eine Trennung der entgegengesetzten Elektricitäten oder der entgegengesetzt elektrischen Zustände bewirken, u. zw. in der Weise, dass nach Fig. 29 die + Elektricität des Körpers A gegen P, die — Elektricität gegen P_1 getrieben wird, so wird an den Stellen P und P_1 eine gewisse Menge gleichartiger Elektricität angehäuft, welche an diesen Stellen P, P_1 eine bestimmte Ladung erzeugt.

Fig. 29.

Letztere bewirkt — entsprechend der Oberfläche von A und infolge der fernwirkenden (abstoßenden) Eigenschaft der Elektricität —, auch eine gewisse Spannung und damit ein Arbeitsvermögen oder ein Potential.

Man nennt nun allgemein eine solche, die entgegengesetzten Elektricitäten trennende und diese bewegende Ursache die „elektromotorische

Kraft"[1]). Das Auftreten derselben kann, wie bereits dargelegt, in verschiedenen Vorgängen (in der Reibung, Umsetzung chemischer Energien etc.) seine Begründung haben. Sie wird umso größer sein, je größer die Elektricitätsmengen sind, welche die elektromotorische Kraft zu trennen imstande ist.

Verbindet man nach Fig. 29 die zwei Stellen P, P_1 des geladenen Körpers A mit einander durch einen anderen Elektricitätsleiter (z. B. durch den Kupferdraht L, so wird die Seite 21 erwähnte Entladung eintreten und es wird solange positive Elektricität zur negativen (oder umgekehrt) übergehen, bis an allen Stellen des Systems AL derselbe Druck- oder Spannungszustand herrscht.

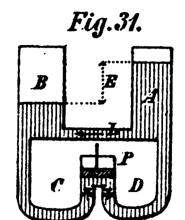
Der durch den Leiter L bewirkte Übergang oder die von P nach P_1 bewirkte Übertragung der Elektricität, wird allgemein als elektrischer Strom bezeichnet[2]).

---

[1]) Dieselbe darf nicht mit der elektrischen Kraft verwechselt werden, mit welcher die Elektricität die Materie (z. B. die Abstoßung einer Ladung auf einer Hollundermarkkugel) bewegt.

[2]) Symbolisch fließt die Elektricität durch den Leiter, wie das Wasser in einer Wasserleitungsröhre, und man kann die Bedingungen für die Erzeugung und Fortleitung des elektrischen Stromes sehr einfach an dem folgenden Vergleichsbeispiele erörtern. Angenommen, es seien in der nebenstehenden Textfigur 31, A und B zwei Wassergefäße gleichen Querschnittes, welche durch die Rohrleitungen C, D und L miteinander in Verbindung stehen, und bei P sei eine Wasserpumpe eingebaut, welche imstande ist, das Wasser von B nach A aufzupumpen.

Fig. 31.



Infolge der gezeichneten Niveaudifferenz des Wassers in den beiden Gefäßen A und B wird das Wasser aus A nach B überströmen, u. zw. solange, als die Niveaudifferenz E noch vorhanden ist. Es entsteht daher im Wasserleitungsrohr L ein kurz andauernder Wasserstrom, der aufhört, sowie das Wasser in A und B gleich hoch steht. Sorgt man nun durch die Pumpe P dafür, dass die anfangs vorhandene Druck-(Niveau-)Differenz E in den beiden Wassergefäßen constant bleibt, so wird continuierlich Wasser von B nach A gepumpt werden können, und es wird fortwährend Wasser durch L von A nach B strömen; es wird demnach im Wasserleitungsrohr L ein continuierlicher Wasserstrom entstehen.

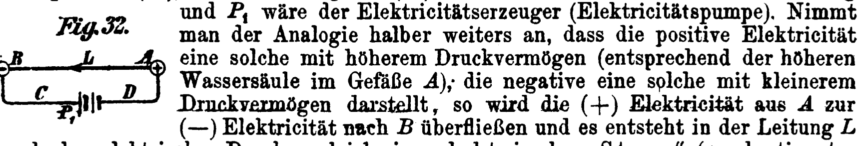
(Jeder aufeinander folgende Pumpenhub erzeugt einen Wasserstromstoß, es entstehen also aufeinander folgende Wasserstromstöße, ähnlich wie man es bei einem gewöhnlichen Brunnen mit Pumpwerk sehen kann.)

Dadurch nun, dass das Wasser, welches zur Erhaltung der constanten Niveau- oder Druckdifferenz E von B abströmen muss, wieder nach A aufgepumpt wird, bekommt man eine Wassercirculation oder einen „Wasserstromkreis".

Ganz dieselben Verhältnisse zeigen sich nun auch beim elektrischen Strome.

Statt dem Wasser der Fig. 31, nehmen wir in Textfigur 32 an, wir hätten hier bei A positive (+), und bei B negative (—) Elektricität; L sei die elektrische Leitung und P_1 wäre der Elektricitätserzeuger (Elektricitätspumpe). Nimmt man der Analogie halber weiters an, dass die positive Elektricität eine solche mit höherem Druckvermögen (entsprechend der höheren Wassersäule im Gefäße A), die negative eine solche mit kleinerem Druckvermögen darstellt, so wird die (+) Elektricität aus A zur (—) Elektricität nach B überfließen und es entsteht in der Leitung L durch den elektrischen Druckausgleich ein „elektrischer Strom" (von bestimmter Stromrichtung).

Fig. 32.



Damit derselbe ein continuierlicher wird, muss eine Kraft vorhanden sein, die, ähnlich der Pumpe beim Wasserbeispiele, continuierlich die elektrische Druckdifferenz zwischen A und B erzeugt. Man nennt nun eine solche, die entgegengesetzten Elektricitäten trennende oder erzeugende Kraft die „elektromotorische Kraft".

Würde, wie in Fig. 30 angedeutet, E die Erde und W eine mit + Elektricität geladene Wolke vorstellen, so würde bei Herstellung entsprechender Ableitung die Elektricität zur Erde übergehen können; die Wolke W würde sich zur Erde entladen.

Die Übertragung der Elektricität durch die elektrischen Leiter, kann nun auf verschiedene Weise geschehen und ist unter verschiedenen Umständen sehr verschieden. Diese Übertragung hängt nicht nur von der Natur der Leiter, sondern auch von anderen Bedingungen (Bearbeitung, Form, Dimensionen der Leiter etc.) ab, welche bestimmen, ob die Übertragung rascher oder langsamer erfolgen kann. In dieser letzteren Beziehung spricht man auch von einer gewissen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität; dieselbe beträgt z. B. für eine Telegraphenleitung aus Kupferdraht etwa 180.000*km* pro Secunde, während für einen Eisendraht derselben Länge nur 100.000*km*; für eine bestimmte submarine Leitung (Seekabel) gar nur 1.200*km*. Dies letztere Resultat hängt mit dem beträchtlich verzögernden Einfluss zusammen, der aus der Einwirkung der Capacität des Leiters auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit herrührt [1]).

+W

−E

Fig. 30.

Erfolgt der Elektricitätsausgleich zwischen PP_1 (Fig. 29) in sehr kurzer Zeit, so erhält man einen momentanen Strom (Stromstoß); wirkt hingegen die trennende Ursache derart fort, dass stets ein Spannungs- (Druck- oder Potential-) Unterschied an den Stellen P und P_1 unterhalten wird, so entsteht in diesem Falle ein continuierlicher Strom. Bleibt hiebei der Druck- oder Spannungsunterschied an den beiden Stellen PP_1 stets derselbe, so ist der continuierliche Strom ein constanter, sonst ist er bei wechselnder Spannungsdifferenz als ein veränderlicher Strom zu bezeichnen. Der gleichartige Verlauf der Elektricitätsentladung in demselben Sinne, bezeichnet einen Gleichstrom, während beim Wechselstrome die continuierlichen Entladungen (oder der elektrische Strom) periodisch die Richtung und Stärke wechselt.

Nach Vorstehendem kann sich also der Elektricitätsübergang in verschiedener Weise durch einen Leiter vollziehen, und er wird auch wesentlich durch den letzteren beeinflusst.

Für die Praxis, wo man eine möglichst gleichförmige, constante Arbeitsleistung benöthigt, wendet man auch meist eine constante und gleichartige Elektricitätserzeugung, sowie gleichartige Leiter an.

Soll aber ein stationärer Zustand für den Elektricitätsübergang in einem Leiter eintreten, so ist es Grundbedingung, dass durch jeden Querschnitt des Leiters eine ebenso große Elektricitätsmenge eintritt, als gleichzeitig durch den Querschnitt desselben austritt; sonst würde eine Aufstauung der Elektricität stattfinden und damit ein ungleichförmiger Zustand.

---

[1]) Ein Seekabel ist wie eine Leydnerflasche, wo das Meer die eine Belegung, der Leitungsdraht die zweite und die Isolation des Kabels das Dielectricum bildet. Die ersten Antheile der überfließenden Elektricität bleiben als elektrostatische Ladung im Kabel. Letzteres ist auch die Ursache, warum Telegraphenapparate nicht sofort ansprechen.



2. Die Leitungsfähigkeit.

Die in gleicher Zeit durch einen elektrischen Leiter hindurch gehende Elektricitätsmenge wird nun abhängig sein:

a) von der Natur des Leiters,

b) von dem Druckunterschiede an den Stellen PP_1 (Fig. 29) des Systems A, d. h. von dem Drucke, mit welchem die Elektricität durch die Querschnittsfläche des Leiters gepresst wird, und

c) von den Dimensionen und der Zusammensetzung der Leiter selbst, z. B. wenn dicke und daran anschließend dünne Leiter vorhanden sind.

Im Nachfolgenden soll dieses Abhängigkeitsverhältnis etwas näher erörtert werden.

ad *a*) Nach Seite 14 besitzen die Körper je nach ihrer Natur eine verschiedene Fähigkeit oder ein verschiedenes Vermögen die Elektricität fortzuleiten, und es wurde bereits Seite 15 die Unterscheidung zwischen „guten" und „schlechten" Leitern gemacht. In Hinsicht der Fortleitung kann man daher auch von einem verschiedenen, „elektrischen Leitungsvermögen" sprechen, das umso größer oder kleiner sein wird, je größer oder kleiner unter sonst gleichen Umständen die in jeder Zeiteinheit durch die Flächeneinheit eines Leiterquerschnittes hindurchgehende Elektricitätsmenge ist. Man sagt mit Bezug auf diesen Umstand, die betreffenden Leiter haben ein verschiedenes „specifisches Leitungsvermögen" (Leitungsfähigkeit), — specifisch deshalb, weil man dasselbe auf $1 cm^3$ des Körpers bezieht.

Um einen Anhaltspunkt für das specifische Leitungsvermögen der verschiedenen, metallischen Stromleiter zu gewinnen, hat man (in Österreich und Deutschland) jenes für Quecksilber bei 0° C. als Vergleichseinheit genommen und die Leitungsfähigkeit der übrigen Metalle darauf bezogen [1]). Hiedurch ergeben sich folgende Verhältniszahlen für das Leitungsvermögen k der in der Praxis gebräuchlichen, metallischen Leiter.

Für Quecksilber $k = 1$ gesetzt, wird die Verhältniszahl für

reines Kupfer	$k = 59$,
käufliches Kupfer	$k = 57$,
Platin	$k = 14$,
Neusilber	$k = 3$,
Silber	$k = 62$,
Eisen	$k = 9·7$,
Blei	$k = 4·8$,
Gold	$k = 45$.

Man sieht hieraus, dass das Silber das bestleitende Metall ist; ihm zunächst steht das in der Praxis am meisten verwendete Kupfer.

3. Specifischer Leitungswiderstand.

Ebenso, wie man nun von einem Leitungsvermögen eines Leiters sprechen kann, kann man auch von dem umgekehrten Begriffe, dem Unvermögen oder dem „Leitungswiderstande" sprechen, und darnach ebenfalls

---

[1]) In England wird dasselbe auf Kupfer ($k = 1$) bezogen; dies ist jedoch nicht zweckmäßig.

jene Menge der Elektricität definieren, die in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit des Leitungsquerschnittes hindurch geht. Es ist klar, dass diese Elektricitätsmenge umso kleiner oder größer sein wird, je größer oder kleiner der Widerstand ist, der sich diesem Durchgange entgegenstellt.

Man hat diese letztere Ausdrucksweise für die Leitungsfähigkeit, nämlich jene des Leitungswiderstandes, als für die Praxis entsprechendere eingeführt, und hat darnach als „specifischen Leitungswiderstand" den reciproken Wert des specifischen Leitungsvermögens, d. i. $s = \frac{1}{k}$ bezeichnet. Derselbe ist somit der Widerstand eines Leiters von der Länge 1*cm* und dem Querschnitte 1cm^2.

Für obige Metalle wird s bei 15° C.:

für reines Kupfer	$s = 0{\cdot}017$
„ käufliches Kupfer	$s = 0{\cdot}0175$
„ Platin	$s = 0{\cdot}09$
„ Neusilber	$s = 0{\cdot}3$
„ Silber	$s = 0{\cdot}16$
„ Eisen	$s = 0{\cdot}09$
„ Blei	$s = 0{\cdot}2$
„ Gold	$s = 0{\cdot}02$.

Der specifische Leitungswiderstand s ist aber nicht allein von der materiellen Beschaffenheit der Leiter abhängig, sondern er ist auch bei ein und demselben Leiter je nach der Temperatur verschieden. Bei allen Metallen und fast allen Metallegierungen nimmt er proportional mit der Temperatur zu; bei flüssigen Leitern (Salzlösungen etc.), dann bei der Kohle nimmt er mit wachsender Temperatur ab. Manche Körper (wie z. B. gewisse Nickelcompositionen etc.) weisen eine nur geringe Änderung von s mit der Temperatur auf.

Für Kupfer z. B. beträgt die Widerstandszunahme in % pro 1° C. = 0·38, für Patentnickel von Basse nur 0·019, für Kohle die Widerstandsabnahme 0·0005. Allgemein kann in einer für die Praxis genügenden Genauigkeit

$$W_t = w_o\,(1 \pm \alpha\, t)$$

angenommen werden, wenn w_o der Widerstand bei 0°, W_t jener bei t^o ist. Der Temperaturscoëfficient α gibt an, um wieviel W_t wächst, wenn die Temperatur um 1° C. zunimmt.

Auch die physikalischen Eigenschaften beeinflussen den specifischen Leitungswiderstand bei demselben Material (z. B. ob dasselbe gehämmert, gegossen, mit und ohne Beimengungen ist).

ad 2 *b* und *c*. Der Einfluss dieser zwei Factoren soll später erörtert werden.

B. Die Stromgesetze.

Da der elektrische Strom als ein, durch einen Leiter bewirkter, continuierlicher Elektricitätsausgleich betrachtet werden kann, so wird dieser Ausgleich mit einer gewissen Gesetzmäßigkeit erfolgen müssen. Diese ist, abgesehen von den zuvor unter 1. bis 3. angeführten Umständen, noch von der Stromform (ob Wechsel- oder Gleichstrom), dann von der Zahl und Art der Elektricitäts-

quellen, von der Zahl und Anordnung der Leiter, als auch der Verbrauchsapparate verschieden.

Der einfachste Fall ist jener, wo nur ein gleichartiger Leiter (z. B. ein gleichdimensionierter Kupferdraht) und eine Elektricitätsquelle vorhanden sind; dieser Fall wird sodann wesentlich complicierter, je größer die Zahl der Leiter wird, welche die verschiedenen Leiter- bezw. Stromsysteme bilden.

Im Folgenden sollen zuerst jene Gesetze erörtert werden, welche sich auf den Gleichstrom beziehen.

a) Der einfach geschlossene Stromkreis.

1. Das Ohm'sche Gesetz.

Bei demselben kann nach der Fig. 33 entweder ein einfacher oder ein zusammengesetzter Leiter vorhanden sein, welcher die beiden entgegengesetzten Elektricitätsmengen (örtlich die „Pole“ $+p, -p$) miteinander verbindet. Der Leiter L kann seiner ganzen Länge nach aus gleichartigem Material (z. B. einem $4mm$-igen Eisendraht) oder aus verschiedenen Materialien bestehen (z. B. aus einem $5mm$-igen Kupferkabel und hieran geschlossen aus einem $3mm$-igen Kupferdraht etc.).

Fig. 33.

In allen diesen Fällen hat man es aber immer nur mit einem in sich geschlossenen Systeme zu thun, bei welchem nach der in der Praxis üblichen Annahme der Stromrichtung, der elektrische Strom von dem $+$ Pole ausgeht, über den Leiter L zum negativen Pol $(-p)$ führt, und durch die Elektricitätsquelle wieder zum $+$ Pol zurückkehrt. Es ist sonach in dem Schema, Fig. 33, ein Stromkreis vorhanden, der aus

a) der Elektricitätsquelle E,
b) der äußeren Leitung L und
c) der inneren Leitung oder jener in der Elektricitätsquelle besteht.

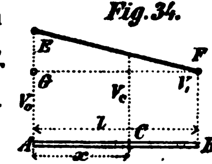
Die „äußere“ Leitung dient zur Aufnahme jener Verbrauchsapparate G, in welchen der Strom Nutzarbeit leisten soll. Sie enthält gleichzeitig gewisse Vorrichtungen S, um durch deren Zwischenschaltung den Stromfluss nach Bedarf aufheben, bezw. den Stromkreis unterbrechen (öffnen), oder aber die Leitungscontinuität wieder herstellen (den Stromkreis schließen) zu können.

In dem äußeren Leiter L wird infolge der an den Polklemmen der Elektricitätsquelle auftretenden Druckdifferenz die Elektricität mit einem gewissen Drucke und mit einer gewissen Menge pro Zeiteinheit durch den Leiter fließen, welcher diesem Durchströmen, wie bereits bekannt, je nach seiner Leitungsfähigkeit einen gewissen Widerstand entgegensetzen wird. Ist die elektromotorische Kraft der Elektricitätsquelle nicht constant, so wird bei gegebenem Leitungswiderstande auch der Zustand im Leiter ein veränderlicher sein, und die Menge der Elektricität, welche durch einen bestimmten Leiterquerschnitt in einer gegebenen Zeit hindurchgeht, wird proportional der Kraft sein, mit welcher die Elektricität in dem betreffenden Querschnitte (und normal auf denselben) auf jede Einheit der Elektricitätsmenge wirkt. Das Verhältnis der Druckdifferenz zur Leiterlänge bezeichnet man allgemein als elektrisches Gefälle (Potentialgefälle).



Nimmt man der Einfachheit halber einen isolierten, homogenen Leiter L (Fig. 33) von der Länge l und von constantem Querschnitte an und denkt man den Leiterring an den Erregungsstellen $p\,p_1$ geöffnet und in eine gerade Linie AB (Fig. 34) ausgestreckt, so kann man sich die Elektricitätsvertheilung an den verschiedenen Stellen des Leiters L dadurch versinnlichen, dass man in Fig. 34 die Stärke der Elektricität (die Drücke V_0, V_1) aufträgt. Hiebei bezeichnen die nach oben gerichteten Ordinaten positive, die eventuell nach unten gerichteten, negative elektrische Zustände. Die Verbindungslinie EF stellt uns bei stationärem Zustande den Verlauf der Druckwerte des Stromes und die Linie

Fig. 34.



$$EG = EA - FB = V_0 - V_1$$

die an den Enden des Leitungsringes aufgetretene Spannungsdifferenz (kurz Spannung genannt), dar.

Es wird dann das Gefälle

$$f = \frac{V_0 - V_1}{l} \text{ oder}$$

$$fl = V_0 - V_1 \text{ sein.}$$

Der Druck in irgend einem Querschnitte C wird sonach $V_c = V_0 - fx$ sein, wenn x den Abstand des Querschnittes C von A bedeutet.

Bezeichnet nun k jene Elektricitätsmenge, welche bei dem Druckgefälle $(V_0 - V_1) = 1$ in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit eines Leiterquerschnittes hindurchgeht, so wird bei dem Gefälle f die Menge fk und bei der Fläche F des Leiterquerschnittes, die Elektricitätsmenge

$$J = kFf$$

in der Zeiteinheit durch den Leiter hindurchgehen.

Man bezeichnet die bei dem Gefälle f durch den ganzen Leiterquerschnitt hindurchgehende Elektricitätsmenge als „Stromstärke". Dieselbe muss bei der gemachten Voraussetzung in allen Querschnitten die gleiche sein.

Fig. 35.

Nimmt man an, dass in einem aus verschiedenen Leitern gebildeten, in sich geschlossenen Systeme $ABCD$ (Fig. 35), die elektromotorischen Kräfte $E_1\,E_2$ . . auftreten, welche in den Leiterstrecken $AB = l_1$, $BC = l_2$ . . ein Gefälle (Druckdifferenz) $f_1\,f_2$ . . hervorbringen, so muss, wie leicht nachzuweisen, $\Sigma E = \Sigma f\,.\,l$ sein.

Wirken sämmtliche elektromotorische Kräfte E_1 bis E_4 in demselben Sinne, so dass die Elektricität z. B. in der Richtung von A über B nach D getrieben wird, und ist ein stationärer Zustand der abfließenden Elektricität vorausgesetzt, so muss die Elektricitätsmenge J, welche durch jeden Querschnitt hindurchfließt, dieselbe bleiben, und es muss, da

$$J = kFf \text{ ist,}$$

für $f = \dfrac{J}{kF}$ in die Gleichung für ΣE substituiert, die Summe der elektromotorischen Kräfte: $\Sigma E = J \Sigma \dfrac{l}{kF}$ werden.

Hieraus folgt $J = \frac{\Sigma E}{\Sigma \frac{l}{kF}}$, oder für $\frac{l}{KF} = w$ gesetzt, muss $J = \frac{\Sigma E}{\Sigma w}$ sein.

Die vorstehende Gleichung ist der mathematische Ausdruck des sogenannten Ohm'schen Gesetzes [1]).

Der Ausdruck $\Sigma \frac{l}{kF}$, auch $\Sigma \frac{1}{k} \cdot \frac{l}{F}$ geschrieben, bedeutet den Gesammtwiderstand (w) des Leitungssystems, weil $\frac{1}{k}$ den specifischen Leitungswiderstand, l die Länge der Leiter und F die Fläche darstellt.

$\Sigma \frac{1}{k} \frac{l}{F}$ ist die Summe der cyclisch gereihten Einzelwiderstände, gleichwie ΣE die Summe der miteinander verbundenen, elektromotorischen Kräfte ist. Bestimmt man sich ΣE, so wird

$$\Sigma E = i . \Sigma w.$$

Hieraus ergibt sich die allgemeine Definition des Ohm'schen Gesetzes:

Im einfach geschlossenen Leitersysteme ist die Summe der elektromotorischen Kräfte gleich dem Producte aus der Stromstärke mal dem Gesammtwiderstand des Leitersystems.

Fig. 36.

Wird $\Sigma E = O$, so wird $i = O$, d. h. es herrscht in dem geschlossenen Systeme Gleichgewicht der Elektricität, oder die Stromstärke ist Null.

Graphisch kann man sich das Ohm'sche Gesetz auch durch die Fig. 36 darstellen, wenn im Dreiecke ABC, $AB = w$ dem Widerstande und $BC = E$ der elektromotorischen Kraft entspricht. Es ist dann, da $J = \frac{E}{w}$ ist, die Tangente des Winkels α oder $\operatorname{tg} \alpha = J$ d. i. gleich der Stromstärke.

Fig. 37.

Das Ohm'sche Gesetz gilt nun nicht nur für in sich geschlossene Stromkreise, sondern auch für jeden einzelnen Theil des Leiters.

Hat man z. B. zwischen den Querschnitten A und B des Leiters L (Fig. 37) eine constante Druckdifferenz e, und ist i die Stromstärke beim Widerstande w, so muss $e = iw$, oder $i = \frac{e}{w}$, bezw. $w = \frac{e}{i}$ sein.

Wirken nicht alle elektromotorischen Kräfte im gleichen Sinne, so ist die ΣE stets als algebraische Summe aufzufassen, d. h. es sind die Kräfte

[1]) Beispiele über das Ohm'sche Gesetz werden bei der folgenden Erörterung der drei Stromgrößen gemacht werden.

entgegengesetzter Richtung auch mit entgegengesetztem Vorzeichen in ΣE einzusetzen.

Das Ohm'sche Gesetz hat jedoch nur allgemeine Giltigkeit für den Gleichstrom; für den Wechselstrom treten noch andere Beeinflussungen der Stromgrößen, wie z. B. die Selbstinduction auf, welche die Anwendungsfähigkeit des Ohm'schen Gesetzes beschränken.

Die drei Größen: Stromstärke J, elektromotorische Kraft E und Leitungswiderstand w hängen nach dem oben Gesagten nun innig zusammen und sie bestimmen zusammen jederzeit den elektrischen Strom; spricht man also überhaupt von einem solchen, so wird er stets durch E, J und w definiert werden müssen.

2. Der Ohm'sche Widerstand.

Derselbe hängt beim metallischen Leiter vom Querschnitte und von der physikalischen Natur, von der Temperatur, sowie von der Längendimension des Leiters ab, und es ist klar, dass unter sonst gleichen Umständen (also bei derselben Elektricitätsquelle, bezw. demselben elektrischen Drucke) die pro Zeiteinheit durch den Leiterquerschnitt hindurchgehende Elektricitätsmenge (sonach auch die Stromstärke) umso größer sein wird, je größer der Leiterquerschnitt oder je kleiner der Widerstand ist. Dies gilt ebenso umgekehrt; ferner werden bei gleichem Querschnitte längere Leitungen jedenfalls einen größeren Widerstand wie kurze besitzen.

Es kann sonach der Leitungswiderstand w eines Leiters [1]) durch nachstehenden Ausdruck definiert werden:

$$w = \frac{s \,.\, l}{F},$$

wobei s den specifischen Leitungswiderstand, l die Länge und F den Querschnitt des Leiters bedeuten. Für $l = 1 cm$, $F = 1 cm^2$ wird $w = s$ werden.

Die Widerstandseinheit. Will man Widerstände mit einander vergleichen oder messen, so ist zuvor die Aufstellung einer Maßeinheit nothwendig. Bis zum internationalen Congresse 1881 war die Siemens'sche Widerstandseinheit (1 S. E.) als Einheit des specifischen Widerstandes gebräuchlich. Dieselbe ist der Leitungswiderstand einer Quecksilbersäule von $1 m$ Länge und $1 mm^2$ Querschnitt bei einer Temperatur von 0°C.

Als Ersatz für diese praktische Einheit wurde auf dem genannten Congresse statt dieser willkürlich angenommenen Einheit eine neue, auf das C G S-System zurückführende, elektromagnetische Widerstandseinheit eingeführt und mit dem Namen „Ohm" (Zeichen Ω) bezeichnet. Dieselbe leitet sich aus der absoluten Einheit des Widerstandes ab, welchen offenbar jener Leiter

---

[1]) Widerstände, welche von der unvollkommenen Berührung zweier Leiterenden herrühren, nennt man „Übergangswiderstände". Diese Art Widerstand wird wesentlich von dem Drucke beeinflusst, welchen die Oberflächen zweier sich berührender Leiter auf einander ausüben; der Übergangswiderstand kann ∞ groß, oder verschwindend klein sein.

besitzt, der bei der elektromotorischen Kraft = 1, die absolute Einheit der Stromstärke liefert [1]). Da diese absolute Einheit nun sehr klein ist, wurde für die Praxis der 10^9 fache Betrag gewählt, welcher also die neue praktische Widerstandseinheit, das „Ohm" darstellt.

Um dieser theoretisch festgelegten Einheit einen für die Praxis verständlichen, vergleichsfähigen Ausdruck zu geben, wurde wieder auf den Widerstand einer Quecksilbersäule zurückgegriffen und vom internationalen Elektriker-Congresse des Jahres 1893 das Ohm als jener Widerstand definiert, welchen eine Quecksilbersäule von 1·063*m* Länge bei 1*mm*² Querschnitt und bei 0° C. besitzt.

Das 10^6 fache eines Ohm's nennt man ein „Megohm" [2]), während der 10^6 Theil eines Ohms als „Microhm" bezeichnet wird.

In der Praxis wird ferner nicht der auf Seite 29 festgesetzte specifische Leitungswiderstand, sondern ein auf das Ohm bezogener Widerstandscoëfficient s_0 für die Berechnung von Leitungswiderständen angewendet. Dieser Coëfficient, als der Widerstand eines Leiters von 1*m* Länge und 1*mm*² Querschnitt bei 15° Außentemperatur definiert, hat für die folgenden Materien nachfolgende Werte:

Für Kupfer ist	s_0 = 0·017	Ohm,
„ Neusilber ist	s_0 = 0·3	„
„ Platin ist	s_0 = 0·09	„
„ Silber ist	s_0 = 0·017	„
„ Blei ist	s_0 = 0·20	„
„ Eisen ist	s_0 = 0·10	„

Setzt man daher in die frühere Gleichung

$$w = \frac{s\,l}{F}$$

l in m, F in mm^2 ein, so erhält man w in Ohm (Ω) ausgedrückt.

Der Vergleich zwischen der älteren Siemens- und der neuen (elektromagnetischen) Maßeinheit ergibt das Verhältnis

1 S. E. = 0·943 Ohm und
1 Ohm = 1·062 S. E.

Für den Telegraphenbau wird gewöhnlich der Widerstand von einem *km* eines 4*mm*-gen Eisendrahtes als „telegraphische Einheit" angenommen. Dieselbe entspricht einem Widerstande von 9·5 Ω.

Flüssigkeiten haben im allgemeinen einen sehr hohen Widerstandscoëfficienten; so hat z. B. eine 30%ige Schwefelsäure einen Widerstand von 26,000.000 Ω, das Seewasser von 38,000.000 Ω u. s. w.

Ebenso ist der specifische Widerstand von Isolatoren sehr hoch, z. B. jener

von Guttapercha etwa	450 . 10^6	Ohm
„ Kautschuk etwa	7500 . 10^6	„
„ Paraffin etwa	3400 . 10^6	„ u. s. f.

[1]) Die Definition des „Ohms" ist auf Grund des Ohm'schen Gesetzes, und basiert auf die später beschriebenen Einheiten für Stromstärke und Spannung erfolgt.

[2]) Für die vielfachen oder Theile der Einheiten benützt man die Vorsilben „mega", „micro", um das 10^6 fache oder den millionsten Theil zu bezeichnen; ebenso „milli" für den 1000. Theil.

Dieser Isolationswiderstand nimmt jedoch mit der Temperatur ab.

Beispiele: 1. Wie groß ist der Leitungswiderstand eines 100*m* langen Doppelkabels der fahrbaren, elektrischen Beleuchtungsapparate, wenn der Durchmesser der Kupferseele 6*mm* beträgt?

Die Querschnittsfläche der Kabelseele ist

$$F = \pi \frac{d^2}{4} = 3{\cdot}14\,.\,9 = 28{\cdot}3 mm^2.$$

Die Länge $l = 2 \times 100 = 200 m$, sonach ist, da $s_o = 0{\cdot}016$

$$w = \frac{0{\cdot}016 \times 200}{28{\cdot}3} = 0{\cdot}11 \text{ Ohm}.$$

2. Wie groß ist der Widerstand eines Kohlefadens von 0·1*m* Länge und 0·05*cm* Dicke, u. zw.: *a*) im kalten (15° C.) und *b*) im heißen Zustande (1.000° C.)?

Da $s_0 = 50$ ist, der Temperaturcoëfficient pro 1° C. $\alpha = 0{\cdot}0005$ beträgt, so wird

$$w_a = 50\,(1 - 0{\cdot}0005\,.\,15) \frac{0{\cdot}1}{\pi\,.\,0{\cdot}25^2} = 24{\cdot}5 \text{ Ohm und}$$

$$w_b = 50\,(1 - 0{\cdot}0005\,.\,1.000) \frac{0{\cdot}1}{\pi\,.\,0{\cdot}25^2} = 13{\cdot}2\ \Omega. \text{ sein.}$$

3. Ein Kupferdraht hat 20*m* Länge und einen Durchmesser von 2*mm*; sein Widerstand wurde bei 15° C. zu 0·1146 S. E. ermittelt. Der Temperaturcoëfficient ist $\alpha = 0{\cdot}0038$.

Wie groß ist die Leitungsfähigkeit k des Drahtes?

Da allgemein $k = \frac{l}{w\,.\,F}$ ist, so wird für t^0 C.

$$k_t = \frac{l}{w_t\,.\,F} = \frac{l}{w_0\,(1 + a t)\,F} \text{ sein.}$$

Für 0° C. ist $k_0 = k_t\ (1 + a\,t)$.

Für $l = 20$, $F = 3{\cdot}14\,.\,1^2$ wird

$$w_t = \frac{0{\cdot}1146}{1{\cdot}06} \text{ und sonach } k_0 = 62 \text{ werden.}$$

Dividiert man diesen Wert durch 1·06, so erhält man die Leitungsfähigkeit des Drahtes bei 0° bezogen auf Quecksilber

$$k = 58{\cdot}5.$$

3. Die Mittel zur Messung von Widerständen.

Zum Vergleichen oder Messen von Widerständen gibt es verschiedene Messmittel, welche der Hauptsache nach aus Vergleichswiderständen bestehen, die eine ihrem Wesen und der Form nach verschiedene Ausgestaltung besitzen.

a) Widerstandseinheiten. Als solche hat man nach der auf Seite 34 gegebenen Definition versucht, die legale Einheit — das Ohm, — in Form von Quecksilberetalons herzustellen. Da aber diese Form von Normalwiderständen verschiedene Nachtheile hat, so hat man für die Praxis Metalldrähte oder Widerstandsrollen, dann Bleche aus Neusilber, noch besser aber solche

aus Legierungen von Kupfer, Zink und Nickel, oder von Kupfer, Mangan und Nickel u. s. f. genommen.

Diese Drähte oder Bleche wurden in verschiedenartig geformten Gehäusen (Dosen etc.) eingeschlossen.

b) Ebenso wurden auch Vielfache dieser Einheit in manigfacher Form ausgeführt und haben sich von diesen in der Praxis insbesondere eingebürgert:

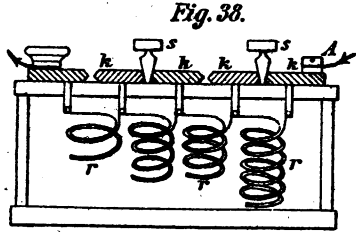
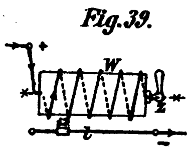


Fig. 38.

α) Die Widerstandskästen. Bei denselben wird (Fig. 38) eine Reihe bifilar gewickelter Widerstandsrollen *r* durch eine Reihe von Metallklötzen *k* miteinander verbunden. Den Schluss zwischen zwei Widerstandsspulen stellt ein conischer Metallstöpsel *s* her. Sind die Stöpsel ausgeschaltet, so fließt der bei *A* eintretende Strom durch die Rollen *r* (Stöpselrheostate). Gewöhnlich erhalten solche Kästen nach Art von Gewichtssätzen Widerstandswerte von 1, 2, 5, 10, 100 u. s. w., bis zu 5.000 Ohm.

β) Wickelt man nach Fig. 39 Widerstandsdrähte auf der Oberfläche einer Walze *W* spiralförmig derart auf, dass das eine Drahtende mit der Axe *z* der Walze verbunden, das andere Ende in der Walze isoliert ist, so kann bei derartigen Walzenrheostaten, durch einen parallel zur Walzenaxe führenden Contactläufer *l* ein verschieden langes Stück Draht (also ein verschiedener Widerstand) für das vergleichsweise Messen eingeschaltet werden.

Fig. 39.


γ) Ebenso kann ein ausgespannter Widerstandsdraht [1]) durch einen längs demselben verschiebbaren Laufcontact variabel untertheilt werden. (Schlittenapparate.)

Alle unter α) bis γ) genannten Apparate vertragen aber nur einen schwachen Strom.

δ) Sehr hohe Widerstände, z. B. Millionen von Ohm können durch feine Bleistift-(Graphit-)Linien (Kreise) auf matte Glasplatten dargestellt werden. Solche Graphitwiderstände liefern dann Widerstände von 10 bis 100 Millionen Ohm (Fig. 40).

Fig. 40.

ε) Für die Technik, in welcher meist große Stromstärken zur Anwendung gelangen, verwendet man Widerstandsregulatoren (Rheostate), welche eine Variation des Widerstandes innerhalb bestimmter Grenzen zulassen und damit eine Veränderung der Stromstärke in jenem Theile bezwecken, in welchen sie geschaltet werden.

Solche verschieden benannte und verschieden construierte Rheostate können entweder aus Drähten oder aus Bändern von Kupfer, Eisen, Neusilber, Nickelin, etc. bestehen, die entweder auf entsprechenden Isolatoren gerade ausgespannt oder meist in Spiralform aufgerollt werden (Spiralrheostate). Die einzelnen, aus verschieden dicken Drähten bestehenden Widerstandselemente

---

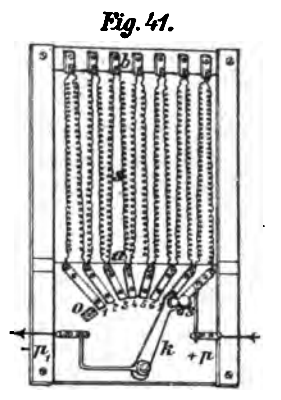
[1]) Siehe Fig. 44, Seite 38.

können dann hintereinander, oder für starke Ströme nebeneinander und hintereinander gereiht verbunden werden.

Gewöhnlich erfolgt die Widerstandsvariation bei solchen Rheostaten durch einen Kurbelumschalter (Fig. 41), weshalb man derartige Rheostate auch Kurbelrheostate nennt.

Nach der einfachen Type in Fig. 41 sind eine Reihe von Spiralen *s* mit ihren Enden an einem Rahmen aus feuersicherem Material durch Schrauben *a* und *b* befestigt.

Fig. 41.



Die Enden *a* der Spiralen *s* stehen durch kurze Drähte mit den isolierten Metallcontacten 1, 2, 3 . . (Lamellen, Knöpfe) in Verbindung, über welche die Kurbel *k* federnd schleift. Bei *p* ist die positive Klemme, bei p_1 die negative Polklemme angebracht. Der, der Eintrittsstelle zunächst liegende Contact 8 repräsentiert die „Kurzschlusstelle“, weil der Strom bei + *p* eintretend, über den Hebel *k* direct zur — Polklemme geht, sonach keine Spiralen durchläuft. Der Contact 1 ist jener des „größten Widerstandes“, wo also der Strom sämmtliche Spiralen durchlaufen muss. Zwischen diesen Knöpfen 8 und 1 sind je nach der Lage des Hebels eine Reihe von Widerstandsspulen *s* eingeschaltet. Oft enthält ein solcher Rheostat noch einen sogenannten „Unterbrechungscontact“ 0, wo gar keine Stromverbindung geschaffen, sonach der Strom unterbrochen werden kann.

Für den Betrieb ist zu beachten, dass der Hebel *k* derart gehandhabt werden soll, dass bei Beginn des Betriebes stets der größte Widerstand eingeschaltet ist; die Drehung erfolgt sodann vom größten zum kleinsten Widerstand, u. zw. je nach dem Bedarf. Beim Einstellen des Betriebes erfolgt die umgekehrte Handhabung des Schalthebels.

Diese, fast allgemein beim Maschinenstrom verwendeten Regulatoren werden stets von der Hand aus bethätigt.

Es gibt aber auch verschiedene Widerstandsregulatoren, welche durch die Stromarbeit bethätigt werden können, das sind dann „automatische Regulatoren“.

ϰ) An Stelle der Drähte bei den Widerstandsregulatoren, können auch Drahtgewebe, Metallröhren, Kohlenstäbe, eine gewisse Zahl parallel geschalteter Glühlampen (Lampenbatterie), u. s. w. treten.

μ) Bei sehr großen Stromstärken verwendet man Flüssigkeitswiderstände, bestehend aus in Kästen gefüllte Salzlösungen (Zink-, Eisen-, Kupfervitriol, Sodalösung etc.), in welchen durch Entfernung der hineingestellten Zink-, Eisen-, Kupfer-Elektroden von einander, der Widerstand variiert werden kann.

4. Die Methoden zur Widerstandsmessung

sind nach den zur Verwendung gelangenden Leitern und den Messmitteln verschieden.

A. Für metallische Leiter, in welchen keine elektromotorischen Kräfte thätig sind, wendet man entweder directe oder indirecte Messmethoden an.

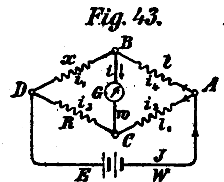
a) Directe Messungen können gemacht werden:

α) durch Vertauschung gleicher Widerstände im einfachen Stromkreise (Substitutionsmethode), indem zwei gleiche Widerstände nacheinander in denselben Stromkreis geschaltet, die gleiche Stromstärke geben müssen. Man vergleicht also, wie in Fig. 42, den zu bestimmenden Widerstand W, mit einem bekannten (Rheostat-Widerstand) R in der Weise, dass zuerst W in den Stromkreis der constanten Batterie E geschaltet, sodann der Nadelausschlag des Galvanometers G beobachtet, hierauf R eingeschaltet und R so lange variiert wird, bis der gleiche Nadelausschlag sich einstellt; dann wird $W = R$ sein.

Fig. 42.

β) Widerstandsabgleichung durch Bestimmung des Verhältnisses ungleicher Widerstandsgrößen (Brückenmethode). Diese Methode beruht auf der Erscheinung, dass, wenn man in die aus den Zweigen AB, BD, DC, CA (Fig. 43) bestehende Stromverzweigung, Widerstände $l\, l_1\, x\, R$ schaltet, die zugeschaltete Batterie E dann keinen Strom in die Diagonale BC („Brücke", in welche ein empfindliches Galvanometer G gelegt wird) sendet, wenn zwischen den bekannten Widerständen $l\, l_1\, R$ und dem zu messenden Widerstande x die Beziehung besteht:

Fig. 43.



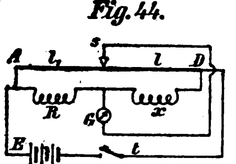
$$\frac{l}{l_1} = \frac{x}{R}\text{ [1]}.$$

Hieraus lässt sich x bestimmen:

$$x = \frac{l}{l_1} R.$$

Die Widerstände l und l_1 heißt man die „Verhältniswiderstände", weil sie das Verhältnis von x zu R bestimmen, R heißt der „Ausgleichswiderstand". Wird $l = l_1$, so wird $x = R$.

Fig. 44.



Dieses von Wheatstone angegebene Messprincip wurde nun in der Praxis in der verschiedensten Weise ausgebaut und sind eine ganze Reihe von Apparaten — „Messbrücken" genannt — entstanden.

Bei den Messbrücken werden entweder für alle Widerstände ($l\, l_1\, R$) Widerstandsspulen oder Widerstandskästen verwendet, oder es werden bei den Messbrücken häufig l und l_1 durch die Theile eines ausgespannten, möglichst homogenen Drahtes gebildet. Erstere Form zeigen die verschiedenen Variationen

---

[1]) Aus der Stromverzweigung für die Wheatston'sche Brücke ergeben sich nach den Gesetzen für den verzweigten Stromkreis (siehe Seite 59) nachfolgende sechs Gleichungen, wobei $i\, i_1\, i_2\, i_3\, i_4$, die in den Zweigen BC, BD, AC, DC, AB herrschende Stromintensität, I den von der Elektricitätsquelle E gelieferten Gesammtstrom, und $w\, x\, l_1\, R\, l$ die in den vorbezeichneten Zweigen vorhandenen Widerstände, W den Widerstand in der Zuleitung AED bedeute. Es muss sodann:

$$I - i_1 - i_3 = 0 \qquad IW + l i_4 + i_1 x = 0$$
$$I - i_2 - i_4 = 0 \qquad i w - i_1 x + i_3 R = 0$$
$$i + i_1 - i_3 = 0 \qquad i w - i_2 l_1 + i_4 l = 0 \text{ sein.}$$

Setzt man nun $i = 0$, so folgt, dass $i_1 = i_3$ und $i_2 = i_4$ wird. Aus den letzten zwei Gleichungen ergibt sich sodann das Verhältnis

$$\frac{l}{l_1} = \frac{x}{R}.$$

der sogenannten „Universalwiderstandskästen", letztere die „Drahtbrücken", deren Princip in Fig. 44 angedeutet ist.

In der Fig. 44 bedeutet: E die Elektricitätsquelle, AD den Messdraht, s den Contactläufer, t den Taster, G das Galvanometer, R den Vergleichswiderstand, x den zu messenden Widerstand.

Bei dieser Drahtbrücke erscheinen die Widerstände x und l_1 gegenüber der Fig. 43 vertauscht, wodurch jedoch immer die Proportion

$$x = \frac{l}{l_1} R'$$

bestehen bleibt.

Das Verhältnis $\frac{l}{l_1}$ lässt sich für jedes beliebige Übersetzungsverhältnis herstellen, indem man den gewöhnlich $1m$ langen Neusilber- oder Nickelin-Messdraht AD durch einen Läufercontact oder Schlitten s untertheilt. Man wählt bei diesen sogenannten „Meterbrücken" den Widerstand R derart, dass die Einstellung des Läufercontactes nahe der Drahtmitte fällt.

Beispiel. Es soll der Widerstand eines Leitungskabels von $5m$ Länge und bestimmter Dicke gemessen werden. Als Elektricitätsquelle wurden zwei Elemente verwendet.

Bei einem Vergleichswiderstande von $R = 0{\cdot}11\,\Omega$ ergibt sich bei der Stellung des Läufercontactes auf $l' = 898mm$ kein Ausschlag des Galvanometers mehr.

Da nun $l = 1000 - 898 = 102mm$ ist, folgt $x = 0{\cdot}11 \frac{102}{898} = 0{\cdot}0113$ Ohm.

(Der Widerstand des Zuleitungsdrahtes wurde hiebei vernachlässigt.)

Hat nun das Kabel $8mm^2$ Querschnitt, wie groß ist dessen Leitungsfähigkeit k?

Nachdem $k = \frac{l}{F \, . \, w}$ ist, wird $k = \frac{5}{8 \, . \, 0{\cdot}0113} \doteq 57$. Da die Leitungsfähigkeit des chemisch reinen Kupfers 59 ist, besitzt das supponierte Kupferkabel eine geringere Leitungsfähigkeit.

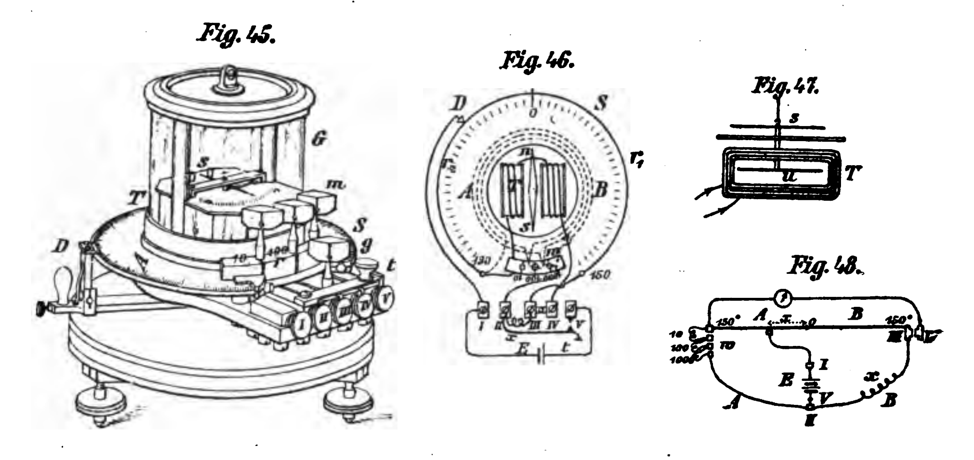
Das Universalgalvanometer von Siemens & Halske.

Dies ist eine außerordentlich verbreitete Form einer Drahtbrücke, deren Einrichtung in den Figuren 45 bis 48 dargestellt ist.

In einem Glasgefäße G (Fig. 45) befindet sich ein empfindliches Galvanometer T' mit einem Nadelpaar (Fig. 47), welches durch Drehen einer Schraubenmutter und dreier Fußschrauben, auf welchen das Instrument ruht, in die richtige Lage gebracht werden kann. Die obere Nadel s dient zugleich als Zeiger für eine vorhandene Kreistheilung (Fig. 45), die untere Nadel u hängt innerhalb dem Multiplicator. Unter dem Glasgehäuse befindet sich in dem genuteten Umfange einer Schiefertafel S (Fig. 46) ein Neusilberdraht. Die Tafel S ist von dem Nullpunkte (in der Mitte) nach rechts und links, — bezeichnet Hälfte A und B, — in 150° getheilt. Durch einen Schieber D lässt sich eine kleine Platinrolle verstellen. Unter der Platte S sitzen drei Vergleichswiderstände w (Fig. 46) von 10, 100, 1.000 Ohm, welche zu den Klemmen r führen, zwischen welchen drei Stöpsel eingesteckt werden können. Durch das Einstecken eines vierten Stöpsels (Widerstandsstöpsels 1), der einen Widerstand

von $\frac{10}{9}$ Ohm enthält, in die Öffnung 10 der Klemmen r, lässt sich die Widerstandsrolle 10 auf 1 Ohm reducieren. Der Anschluss der Batterie E und des unbekannten Widerstandes x erfolgt an den Klemmen I V, bezw. II III (Fig. 45 und 46), welche sich unterhalb des Ausschnittes der Schiefertafel S befinden. Die Klemme V ist von den übrigen Stromverbindungen des Instrumentes isoliert und wird durch den kleinen Taster t mit der Klemme II in Berührung gebracht. Dadurch bekommt man nur eine momentane Einwirkung des Stromes, was vortheilhaft ist.

Zur Messung inductionsfreier Widerstände lässt man die Klemmenverbindung III, IV durch Einstecken des Stöpsels g bestehen und bedient sich



des Tasters t für die Bewirkung des Stromschlusses. Bei nicht inductionsfreien Leitern (Stromspulen etc.) schließt man zuerst den Taster und stöpselt nach Ablauf der auftretenden Extraströme zwischen Klemme III und IV. Fig. 48 stellt das Stromschema dar, das an der Hand der Fig. 46 leicht zu verfolgen ist.

Der Vorgang beim Messen ist folgender:

Man verbindet zuerst den unbekannten Widerstand und die Messbatterie mit den bezüglichen Klemmen, stöpselt das Loch zwischen III und IV und öffnet eines der Löcher 10, 100, 1000, u. zw. jenes, dessen Vergleichswiderstand dem zu messenden Widerstand vermuthlich am nächsten liegt. Hierauf stellt man das Instrument derart, dass die Magnetnadel frei beweglich ist und dreht die Schieferplatte so lange, dass die Nadel in den magnetischen Meridian zu stehen kommt und mit dem Nullpunkt der Scala übereinstimmt; nun schließt man den Taster und verschiebt die Platinrolle so lange, bis kein Nadelausschlag mehr erfolgt. Man liest Ausschlagseite und Scalentheil ab und entnimmt aus der dem Instrumente beigegebenen Tabelle den entsprechenden Widerstand, welcher mit dem Vergleichswiderstande zu multiplicieren ist.

Man kann den unbekannten Widerstand auch rechnen aus der Formel:

$$x = \frac{150 \pm \alpha}{150 \mp \alpha} m,$$

wenn m der Vergleichswiderstand ist und α im ersten Falle (oberes Zeichen) auf der A-Hälfte, im zweiten Falle (unteres Zeichen) auf der B-Hälfte liegt.

Bei fehlerhaften Leitungen zeigt die Nadel oft einen Ausschlag, ohne dass der Taster gedrückt wird. Dann muss der Zeiger bei der Messung so lange verrückt werden, bis die Nadel mit und ohne Drücken des Tasters denselben Ausschlag gibt.

Beispiele. 1. Es soll nach dem Schema Fig. 49, der Isolationswiderstand einer verlegten Kabelleitung L gemessen werden. Zur Messung wird bei Stromschluss der Contact D so lange verschoben, bis die abgelenkte Nadel s wieder auf Null zurückgeht. Befindet sich sodann D auf der Seite von A, z. B. um den Scalentheil $\alpha = 100^{0}$ von 0 entfernt, so ist $x_1 = w \dfrac{150 + \alpha}{150 - \alpha} =$

$= 1.000 \,.\, \dfrac{150 + 100}{150 - 100} = 5.000$ Ohm, wenn der Vergleichswiderstand $w = 1.000\ \Omega$ war.

Fig. 49.

(Bei der Stellung von D auf der Seite B wird

$$x_1 = w \frac{150 - \beta}{150 + \beta} = 200 \text{ Ohm sein.)}$$

2. Eine eingeschaltete Glühlampe liefert beim eingeschalteten Vergleichswiderstande $w = 10\,\Omega$ eine Einstellung des Contactes auf der A-Seite: $\alpha = 81{\cdot}4$; folglich ist $x = 10 \,.\, \dfrac{150 + 81{\cdot}4}{150 - 81{\cdot}4} = 33{\cdot}7\,\Omega$.

Dieses Instrument gestattet bei entsprechender Schaltungsweise auch Druckunterschiede und Stromstärken [1]) zu messen, weshalb es eben als „Universalgalvanometer“ bezeichnet wird.

Telephonbrücken. Für praktisch genaue Messungen kann man das Galvanometer auch durch ein Telephon ersetzen, wie dies z. B. bei den Messbrücken von Nippolt, Kohlrausch u. A. der Fall ist.

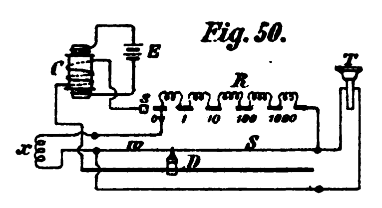


Fig. 50.

Das Schema in Fig. 50 zeigt die principielle Einrichtung einer solchen Messbrücke. E ist die Batterie, C ein kleiner, Wechselströme liefernder Inductionsapparat mit einem Unterbrecher, x der zu messende, R der Vergleichswiderstand, ferner T das Telephon, S der Messdraht mit dem Contactläufer D. Beim Messen steckt man bei s einen Verbindungsstöpsel ein und zieht einen der Stöpsel 1, 10, 100, 1000 Ω von R heraus; man verschiebt sodann den Läufer D so lange, bis das Telephon nahezu zum Schweigen gebracht wird. Die Ablesung w auf der Scala unter dem Zeiger, multipliciert mit der Widerstandsangabe des herausgezogenen Stöpsels von R gibt die Größe des Widerstandes x.

Mit solchen Drahtbrücken kann man nun inductionsfreie Widerstände von 0·01 bis 1,000.000 Ohm messen. Sie eignen sich sehr gut zur Messung von

[1]) Siehe Seite 47; Siemens & Halske geben übrigens jedem Instrumente eine genaue Beschreibung ihrer Apparate und deren Schaltweise mit.

Kabel- und Blitzableiterwiderständen, für Erdplatten und für nicht zu große Isolationen.

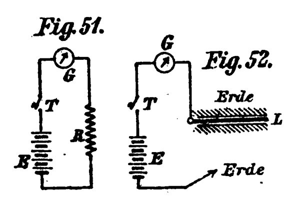
Für sehr kleine Widerstände (unter 0·01 Ohm), wie sie z. B. bei Messungen von kurzen Leitungsmaterialien, Kohlenstäben, Ankerbewicklungen etc. vorkommen, verwendet man am besten die Thomson'schen oder Siemens'schen Doppelbrücken. Hier können bei Anwendung sehr empfindlicher Spiegelgalvanometer Widerstände von 0·1 bis 0·00001 Ohm gemessen werden [1]).

b) Indirect kann der Widerstand eines Leiters bestimmt werden, wenn man eine Strom- und eine Spannungsmessung macht. Ist e die an den Enden des Widerstandes herrschende Spannungsdifferenz, i die gemessene Stromstärke, so ist $w = \frac{e}{i}$.

Beispiel. Eine Glühlampe hat im heißen Zustande eine Spannung von 100 Volt; beträgt der gemessene Verbrauchstrom 0·50 Ampère, so ist der Widerstand der Lampe $\frac{100}{0 \cdot 5} = 200$ Ohm.

2. Bei zersetzbaren Leitern (Flüssigkeiten, galvanischen Elementen, Accumulatoren etc.), wo eine elektromotorische Kraft vorhanden ist, ist die Ermittlung des inneren Widerstandes solcher Leiter ziemlich schwierig, weil viele Elemente eine oft bedeutende Polarisation besitzen und überdies die Elemente selbst Strom abgeben, sich also nicht wie feste Leiter in die Brücke setzen lassen. Man kann hier entweder nach der Methode *a*) *α*) vorgehen, oder nach bestimmten Brückenmethoden, z. B. bei Anwendung von Gleichstrom nach der Methode von Mance oder bei Wechselstrom mit der Kohlrausch'schen Brücke.

3. Isolationswiderstände [2]), welche nach Seite 34 meist sehr hohe Widerstände repräsentieren (über 10^6 Ohm, ja selbst bis zu 10^9 Ohm), werden nach der Methode des directen Ausschlages bei eventueller Nebenschließung des Galvanometers gemessen. Hiezu verwendet man die nebenstehende Schaltung (Fig. 51). G ist z. B. ein Siemens - Universalgalvanometer, E die Batterie, T ein Stromschließer, R ein Vergleichswiderstand (z. B. 100.000 Ohm).



Zuerst schaltet man für praktisch genügend genaue Messungen den bekannten, großen Widerstand R in den Stromkreis der Batterie E und ermittelt den Ausschlag des Galvanometers; dieser darf nicht zu groß sein. Dann nimmt man den Widerstand R heraus und schaltet auf das zu untersuchende Kabel nach Fig. 52, indem man z. B. bei der Untersuchung der unter der Erde verlegten Leitungen einen Erdschluss (durch Anschluss an eine Blitzableiteranlage oder einen Wasserbehälter) herstellt. Die Widerstände verhalten sich nunmehr wie der Sinus der abgelesenen

---

1) Siehe hierüber die verschiedenen Handbücher über Elektrotechnik.

2) Wenn z. B. der Grad der Isolation von Leitungshüllen ermittelt werden soll, welche aus Gespinnsten, Kautschuk oder Guttapercha etc. bestehen können.

Winkel. Dieses Verhältnis multipliciert mit dem Vergleichswiderstand R gibt den Isolationswiderstand.

Die Größe der Messbatterie muss dem zu messenden Widerstande angepasst sein, so dass ein geeigneter Ausschlag erhalten wird; ferner müssen die Enden der Kabel sorgfältig isoliert sein.

Beispiel. Ein untersuchtes Kabel der Küstenbeleuchtungsapparate gab einen Ausschlag von 15° bei Anwendung eines Universalgalvanometers, dieses als Sinusboussole gebraucht. Bei der Einschaltung von 10.000 Ω im directen Stromkreise erfolgte ein Ausschlag von 3°. Sonach ist der Isolationswiderstand des Kabels gegen Erde (bei Anwendung von 35 Leclanché-Elementen) etwa $\frac{0\cdot26}{0\cdot025} \doteq 10 \times 10.000 = 100.000\,\Omega$.

In der Praxis wird bei sehr hohen Widerständen, gewöhnlich durch einen Graphitwiderstand, bei gegebener Batterie jener Widerstand ermittelt, welcher die Ablenkung des Galvanometers auf 1° reduciert. Ist z. B. dieser Widerstand (die „Empfindlichkeit" genannt) W, ferner n die Ablenkung nach Anlegen des Kabels, so ist der Isolationswiderstand $x = \frac{W}{n}$.

5. Die Stromstärke

oder Intensität des Stromes ist die Menge der in der Zeiteinheit (Secunde) durch jeden Querschnitt eines Leitersystems hindurchgehenden Elektricität.

Die Größe derselben hängt wieder von der Wahl der Einheit für die Stromstärke ab. Für die Feststellung letzterer Einheit hat man die Wirkungen des Stromes selbst benützt und hat darnach hauptsächlich zwei Arten eines Strommaßes aufgestellt, nämlich:

a) das chemische und
b) das magnetische Strommaß.

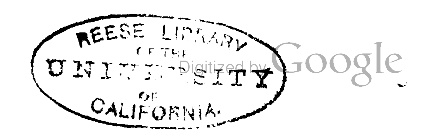
ad *a*) Das erstere gründet sich darauf, dass der elektrische Strom imstande ist, gewisse chemische Verbindungen (Elektrolyte) zu zerlegen, der elektrische Strom sonach eine bestimmte chemische Wirkung hat.

Lässt man z. B. einen elektrischen Strom durch Wasser fließen, so wird dasselbe zersetzt, und es wird sich ein Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff, also Knallgas, bilden.

Faraday hat nun gefunden, dass die Gewichte g der ausgeschiedenen Bestandtheile einer durch den elektrischen Strom zersetzten Verbindung proportional der zu diesem Zwecke verbrauchten Elektricitätsmenge sind. Ist nun g das Gewicht des Niederschlages nach der Zeit t, m die in derselben Zeit von der Stromstärke i hindurchgeführte Elektricitätsmenge, so ist $m = it$ und $m = cg$, wenn c das Gewicht des von der Elektricitätsmenge Eins niedergeschlagenen Materiales bedeutet.

Demnach wird $i = \frac{cg}{t}$ sein.

Hierauf basiert, hat man als anfängliche Einheit der Stromstärke jenen Strom definiert, welcher in der Zeiteinheit (Minute) einen cm^3 Knallgas bei 0° C. und 760 mm Barometerstand liefert. Dies ist die sogenannte „Jakobi-



Einheit", welche von eigenen Wasserzersetzungsapparaten (Volums-Voltametern) geliefert wird.

Zu genaueren Messungen der Stromstärke bedient man sich aber mit günstigerem Erfolge der Gewichts-Voltameter (Kupfer-, Silber-, oder Zink-Voltameter), bei welchen die Menge des bei der Elektrolyse einer Kupfervitriol-, Zink- oder Silbersalzlösung in einer Minute ausgeschiedenen Kupfers, Silbers oder Zinkes durch Wägung bestimmt wird.

In der Fig. 53 ist ein Kupfervoltameter dargestellt. Dessen Glasbehälter *G* enthält eine Kupfersulfatlösung, sowie zwei, in letztere eingetauchte Kupferbleche *A*, *B*, durch welche der zu messende Strom gesendet wird. Ist der Versuch nach einer bestimmten Zeit zu Ende, so werden die Platten gewaschen, getrocknet und gewogen.

Fig. 53.

ad *b*) Das elektromagnetische Strommaß gründet sich auf die Thatsache, dass ein elektrischer Strom, wie ein Magnetstab, ablenkend auf eine Magnetnadel wirkt. (Siehe Seite 68.) Hierauf bezugnehmend, hat der internationale elektrische Congress im Jahre 1881 eine Stromeinheit festgestellt, welche den Namen „Ampère" (mit der Bezeichnung A.) erhalten hat. Diese Einheit wurde wieder aus der „absoluten Einheit" der Stromstärke abgeleitet, welche jener Strom hat, der in einem kreisförmigen Leiter von 1*cm* Halbmesser und auf 1*cm* Länge verlaufend, auf die Einheit des freien Magnetismus, welcher sich in einem *cm* Abstand von der Mitte des Leiters befindet, mit der Kraft einer Dyne wirkt. Da diese absolute Einheit für die Praxis aber zu groß war, wurde der 10. Theil derselben als neue, praktische Einheit — das „Ampère" — festgestellt.

Der 1000. Theil des Ampère heißt „Milliampère" und ist das gebräuchliche Strommaß in der Telegraphie.

Im Vergleiche zum chemischen Strommaße ist

$$1 \text{ A.} = 10{\cdot}44 \text{ J. E.}$$

Der Strom von 1 Ampères scheidet in einer Minute aus: 67·10*mg* Silber, 19·68*mg* Kupfer und 10·44*mg* Knallgas.

Diejenige Elektricitätsmenge, welche der Stromstärke von 1 Ampère entspricht, heißt „Coulomb" (d. s. 10^{-1} absolute Masseneinheiten). Die während einer bestimmten Zeit (z. B. innerhalb einer gewissen Anzahl Stunden) gelieferte Stromstärke misst man in Ampère und Zeitstunden, oder in „Ampèrestunden" und nennt die Apparate, welche die Stromstärke auf eine bestimmte Zeitdauer messen, Ampère-Stundenzähler (auch Coulombmesser). Einer Ampèrestunde entsprechen $60 \times 60 = 3.600$ Coulomb.

Beispiele. 1. Eine Dynamomaschine schlägt in einem Voltameter in der Minute 2*g* Silber nieder; wie groß ist die Stromstärke?

Nach Obigem offenbar $J = \frac{2}{0{\cdot}067} = 30$ Ampère.

2. In einem elektrolytischen Kupferbade hat die Kathode innerhalb 10 Minuten um 0·8*g* an Gewicht zugenommen; wie groß war die Stromstärke?

$$J = \frac{0{\cdot}8}{0{\cdot}019 \,.\, 10} = 4{\cdot}2 \text{ Ampère.}$$

3. Ein Accumulator liefert während fünf Stunden einen constanten Strom von 30 Ampère; wie groß ist seine Entladecapacität? Offenbar:

$$5 \times 30 = 150 \text{ Ampèrestunden.}$$

Oder: ein Consument braucht für seine Hausbeleuchtung zu 25 Glühlampen einen Strom von 13 Ampère. Er benöthigt diese Beleuchtung von 6 bis 10^h Abends, folglich ist sein Stromconsum:

$$4 \times 13 = 52 \text{ Ampèrestunden.}$$

b) Die Mittel zur Messung der Stromstärke sind verschieden, u. zw. je nach dem die verschiedenen Wirkungen des Stromes hiezu benützt werden. Deren Verwendungsweise bestimmt dann wieder die Messmethoden.

Man kann die Strommessapparate eintheilen:

1. in Galvanometer (elektromagnetische Apparate), gegründet auf die magnetische Wirkung des Stromes;

2. in Elektrodynamometer, gegründet auf die Wirkung zweier Ströme aufeinander;

3. in Voltameter, deren Princip schon zuvor erwähnt wurde, und endlich

4. in Calorimeter, wenn die Ausdehnung eines von einem Strome durchflossenen Drahtes (infolge dessen Erwärmung) als Maßangabe benützt wird.

Während die unter 1. und 3. genannten Apparate für Gleichstrom verwendet werden, lassen sich jene unter 2. und 4. auch für Wechselstrom verwenden.

Im Nachfolgenden sollen die wichtigsten Strommessapparate etwas näher erörtert werden.

ad 1. Bei den Galvanometern kann entweder der in mehreren Drahtwindungen geführte elektrische Strom auf eine bewegliche Magnetnadel, oder aber ein Magnet auf eine bewegliche Stromspule wirken gelassen werden. Es kann jedoch auch der elektrische Strom auf weiches Eisen in der Weise einwirken, dass dasselbe durch den Strom erst magnetisiert wird und sodann als Gegenkraft für die elektromagnetische Wirkung, die Schwere, die Federkraft u. s. w. verwendet wird.

Zu den ersteren Gattungen gehören als hauptsächlichste Repräsentanten:

a) Die Tangentenboussole mit ihren verschiedenen Variationen.

Im Principe besteht dieselbe aus einem Kupferreif CD (Fig. 54) von großem Durchmesser, der unten aufgeschnitten ist und zu welchen Enden sodann der Strom zu- und abgeführt wird. In der Mitte des für die Messung in den magnetischen Meridian zu stellenden Reifens ist eine sehr kurze Magnetnadel NS angebracht.

Fig. 54.

Die Größe der Ablenkung α dieser Nadel steht im Zusammenhange mit der Stromstärke, u. zw. nach der Gleichung

$$i = \frac{H \cdot r}{2\pi} \operatorname{tang} \alpha = k \operatorname{tang} \alpha,$$

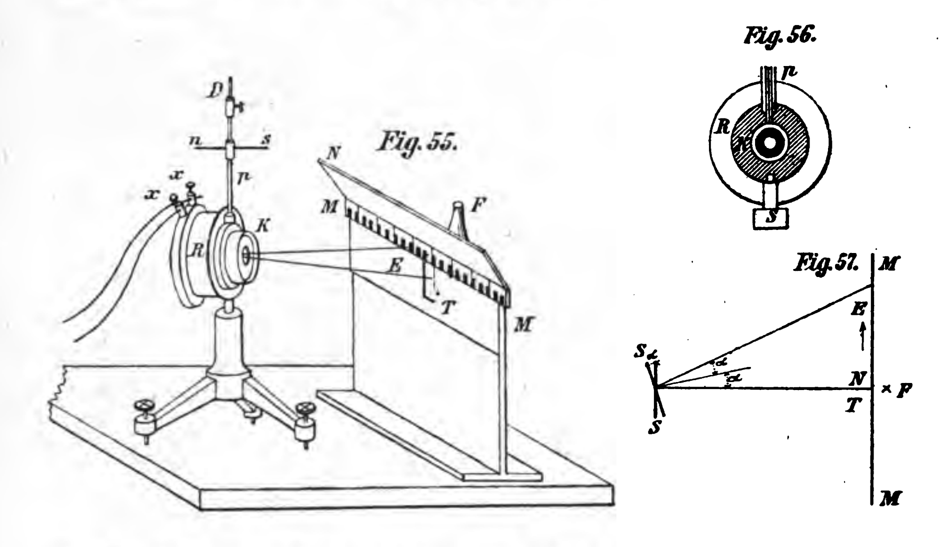
worin r den Radius der Windungsfläche, H die Horizontalcomponente des Erdmagnetismus, $k = 1{\cdot}592 \cdot r \cdot H$ den „Reductionsfactor" des Instrumentes bedeutet.

Beispiel. Ist r bei einer Tangentenboussole $= 12{\cdot}5\,cm$, H (für Wien) $= 0{\cdot}2$, so ist der Reductionsfactor $k = 1{\cdot}59 \cdot 12{\cdot}5 \cdot 0{\cdot}2 = 4$ und $i = 4 \operatorname{tg} \alpha$. Ist nun $\alpha = 45^\circ$ gefunden worden, so ist $i = 4$ Ampère.

Die Ablenkung der Magnetnadel der Boussole, welche entweder auf einer Spitze aufruhend, oder an einem Coconfaden oder an einer Spiralfeder hängend befestigt werden kann, kann auf verschiedene Weise gemessen werden. Entweder spielt hiezu die Nadel mit oder ohne eigenen Zeiger auf einen Theilkreis, oder man projiciert bei sehr genauen Messungen die Ablenkung der Nadel auf eine geradlinige Theilung.

b) Für sehr schwache Ströme bedient man sich der gewöhnlichen Galvanometer (nach Wiedemann, Obach, Gaugain etc.), bei welchen der Kupferreif durch einen Rahmen mit feinen Kupferdrahtwindungen ersetzt ist, welche Windungen sehr nahe dem beweglichen Magneten angebracht sind. Um die Magnetnadel empfindlicher zu machen, hat man auch zwei gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete und mit einander fest verbundene Magnetnadeln (astatische Nadeln, Fig. 47) verwendet.

c) Für genauere Messungen (zu Aichungen etc.) eignete sich am zweckmäßigsten das auf dem Principe der Spiegelablesung beruhende Galvanometer



oder das Spiegelgalvanometer. Ein solches (Typ Thomson) ist in der Fig. 55 gezeichnet. Ein kleiner Magnetring ist mittels Coconfadens innerhalb eines Kupferringes (Dämpfers) K (Fig. 56) frei beweglich aufgehangen. Der Coconfaden ist durch die Röhre p geführt und an einem im oberen Ende derselben geklemmten Drahte D befestigt.

Um die Stellung des Magneten ersichtlich zu machen, ist derselbe mit einem kleinen Spiegel S (Fig. 57) verbunden. Auf diesen Spiegel fällt das Licht einer durch eine Lampe F (Fig. 55) beleuchteten Spalte T und wird von demselben auf die Scala MM reflectiert. Indem die vordere Öffnung des Kupferringes K durch eine Linse mit großer Brennweite geschlossen wird, erhält man ein scharfes Bild N der Spalte auf der, in geeigneter Entfernung aufgestellten Scala. Dreht sich der Magnet um den Winkel α (Fig. 57), so wandert das Bild auf der Scala von N nach E und man erkennt aus der Fig. 57 dass

$NE = SN \operatorname{tg} 2\alpha$ ist. Es entspricht sonach einer Ablenkung α des Spiegels, eine Ablenkung 2α des Spiegelbildes. Da jedoch α nur kleine Werte erreicht, so kann man tg α durch den Winkel α ersetzen, und weil dem Winkel α die am Maßstabe MM abzulesende Strecke $d = NE$ proportional ist, so ist das Gesetz des Spiegelgalvanometers: $i = k \cdot d$.

In der Regel ist der Apparat so aufgestellt, dass die Axe des Dämpfers senkrecht auf der Ebene des magnetischen Meridians steht. Die Wirkungen der Multiplicatorrollen R, welche auf den Dämpfer aufgeschoben werden können, liegen dann gleichfalls im magnetischen Meridian.

Ein Strom, welcher durch die Multiplicatorrolle gesendet wird, gibt, wie bei der Tangentenboussole, ein Moment, welches den Magnet aus der Ebene des magnetischen Meridians herausdreht und mit dem Cosinus des Ausschlagwinkels abnimmt. Die Erde gibt ein Moment, welches mit dem Sinus des Ausschlagwinkels zunimmt. Der Magnet stellt sich also unter einem Winkel α in die Gleichgewichtslage ein, für welchen diese beiden Momente einander gleich sind.

Dadurch, dass auf die Röhre p ein Astasierungsmagnet ns mit dem Nordpole nach Norden aufgesetzt wird, gelingt es, die Wirkung des Erdmagnetismus zum Theile aufzuheben. Derselben Stromstärke entspricht sodann ein größerer Ausschlag des Magneten.

Die Formen der Spiegelgalvanometer sind nun sehr verschieden, u. zw. sowohl in Bezug auf die Gestalt der Magnete, als auch jener der Dämpfung. Für deren Aufstellung wählt man ein möglichst von Erschütterungen freies Locale und beachtet, dass die Windungsebene in den magnetischen Meridian fällt. Bewegliche, in der Nähe befindliche Eisenmassen beeinflussen Instrumente ohne Astasie beträchtlich.

Für die directe Messung größerer Stromstärken kann man solche empfindliche und darum genaue Instrumente nicht verwenden. In einem solchen Falle müssen die Instrumente im Nebenschluss geschaltet werden, wie dies die Fig. 58 andeutet.

Um die Empfindlichkeit des Instrumentes zu ändern, werden zum Instrumente „Vorschaltwiderstände“ geschaltet, welche $\frac{1}{9}$ bis $\frac{1}{9999}$ des Galvanometerwiderstandes umfassen. Der Widerstand der Galvanometer schwankt je nach der Construction derselben von 80 bis 20.000 Ohm.

d) Das Seite 39 bereits beschriebene Universalgalvanometer von Siemens & Halske eignet sich als „Sinusboussole“ ebenfalls zum directen Messen schwacher Ströme. Hiezu wird das Instrument derart geschaltet, dass das Loch zwischen Klemme III und IV offen bleibt, die Löcher 10 bis 1.000 aber gestöpselt werden. Die beiden Enden des Stromkreises, dessen Stärke zu messen ist, werden an IV, V geschaltet. Man dreht nun das Instrument so lange, bis die Nadel auf Null zeigt und stellt den Contacthebel D (Fig. 45) ebenfalls auf Null. Durch Drücken des Tasters t schließt man den Stromkreis und dreht entsprechend dem erlangten Nadelausschlage, das Instrument solange in der Richtung der Ablenkung, bis die Nadel wieder auf Null zeigt. Dann ist

Fig. 58.

$$i = k \sin \alpha,$$

wobei k die Constante des Instrumentes bezeichnet. Durch geeignete Nebenschlüsse $\left(\frac{100}{9}, \frac{100}{99}, \frac{100}{999}\right)$ kann man die Empfindlichkeit in geeigneter Weise (auf $\frac{1}{10}, \frac{1}{100}, \frac{1}{1000}$ des ursprünglichen Wertes) vermindern. Diese Nebenschlüsse werden an Klemme II, IV festgeschraubt. (Siehe auch Fig. 48, Seite 40.)

e) Das Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske, welches Seite 54 beschrieben wird, kann ebenfalls zur directen Messung sehr schwacher Ströme benützt werden.

Alle diese unter *a*) bis *e*) beschriebenen Apparate, welche sehr exacte Messungsresultate liefern, eignen sich weniger zu Messungen in Räumen, wo Maschinen oder sonstige große Eisenmassen, dann Magnete und Stromleitungen sich befinden, welche die Apparate stark zu beeinflussen vermögen.

Dort, wo es auf eine nur praktische Genauigkeit (1% Fehlerdifferenz), ferner darauf ankommt, die Messapparate einfach und leicht aufzustellen, endlich, wo in jedem beliebigen Augenblicke gemessen werden soll, wendet man lieber die sogenannten „technischen Galvanometer“ an.

Zu dieser letzteren Kategorie der Galvanometer, bei welchen ein Stück weiches Eisen unter dem Einflusse der Schwere, der Elasticität eines Metalldrahtes etc. derart im magnetischen Felde orientiert wird, dass durch das Einleiten des Stromes das Eisenstück magnetisiert und durch den Strom entsprechend gerichtet wird, gehören:

f) Die für die Praxis verwendeten und empierisch graduierten, technischen Strommesser oder Ampèremeter.

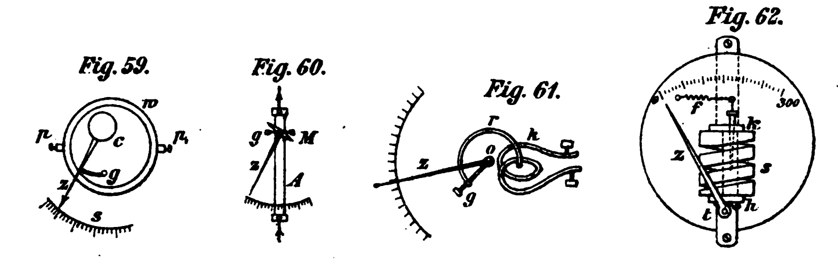
In der Regel beobachtet man bei denselben die durch den Strom erzeugte Ablenkung eines verschiedenartig gelagerten, weichen Eisenstückes. Letzteres kann unsymmetrisch zum Feld des Stromes gelagert sein (Ampèremeter von Hummel, Siemens & Halske, Hartmann & Braun u. s. w.), oder es dreht sich um eine zu den Kraftlinien senkrechte Axe (Typ Carpentier u. dgl. m.), oder endlich ist ein Eisenkern so aufgehängt, dass er, theilweise in die Höhlung einer Rolle hineinragend, beim Einleiten des Stromes magnetisiert und sodann in die Höhlung hineingezogen wird (elektromagnetische Stromwaagen, Typ Kohlrausch, Brückner, Ross & Co., Siemens & Halske).

Im Nachfolgenden sollen einige Typen der technischen Galvanometer kurz skizziert werden.

α) Das Ampèremeter von Hummel. Bei demselben wird die Wirkung eines Solenoides w (Fig. 59) auf ein dünnes Eisenblech c benützt. Beider Axen sind parallel, jene von c zur ersteren jedoch excentrisch gestellt. Als Gegengewicht für die Stromwirkung dient das Gewicht des Bleches, des Zeigers z und jenes der Justiergewichte g. Der, das Solenoid durchfließende Strom ist bestrebt das Blech c näher an w heranzuziehen, weil die Dichte des magnetischen Feldes in der Nähe der Wandungen größer ist als in der Mitte.

Bei stärkeren Strömen ist die Spule *w* durch einen Kupferdrahtbügel ersetzt. $p\,p_1$ sind Polklemmen, *s* eine empirisch geaichte Scala.

β) Der Stromanzeiger von Ross & Cie. Derselbe besteht aus einer starken Kupferschiene *A* (Fig. 60) und einer kurzen Magnetnadel *M*, welche durch den, durch die Schiene *A* fließenden Strom abgelenkt wird. Das Maß der Ablenkung wird durch einen Zeiger *z* auf einer Scala direct in Ampère angezeigt. Kleine Gegengewichte *g* dienen zum Justieren der Apparate.

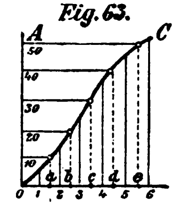


γ) Der Strommesser von Siemens & Halske besteht aus einer kurzen Spule *k* (Fig. 61), in welche ein dünnes Ringsegment *r* aus weichem Eisen eingezogen wird, das mit einem Zeiger *z* und einem Gegengewichte *g* verbunden, sich um eine Axe *o* drehen lässt. Je stärker nun der Strom ist, umso tiefer wird *r* in die Spule gezogen. Diese Apparattype wird bis zu 600 A. Messbereich gebaut.

δ) Das Ampèremeter von Hartmann & Braun hat ein Solenoid *s* (Fig. 62) und einen Eisenkern *k* aus gerolltem weichen Eisenblech. Letzteres wird nun in die Spule *s* hineingezogen und die Einziehung durch den Hebel *h* auf den Zeiger *z* übertragen. Der Drehung der Zeigeraxe wirkt die Torsionsfeder *t* entgegen. Eine Feder *f* soll das seitliche Verschieben des Kernes vermeiden lassen. Für große Stromstärken (über 80 Ampère) finden statt der Drahtsolenoide, Kupferspiralen Anwendung.

Die Schaltung der technischen Strommesser geschieht stets direct in den Stromkreis (*T* Fig. 68 auf Seite 51).

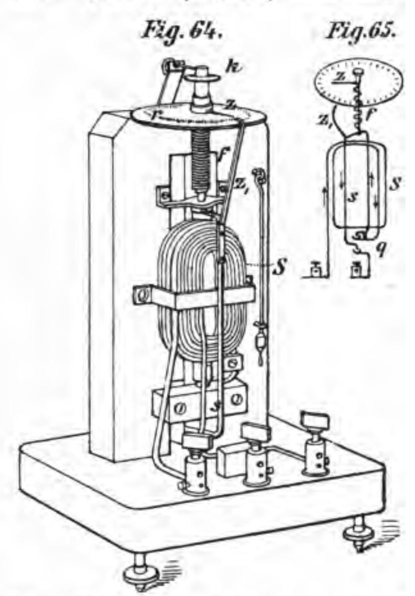
Die Aichung oder Justierung der technischen Strommesser in Ampère geschieht durch den Vergleich des Zeigerausschlages des Strommessers mit den Angaben einer Tangentenboussole, oder eines mit Nebenschlüssen versehenen Galvanometers, oder endlich mit den Ergebnissen voltametrischer Messungen. Zur Vornahme der Aichung bringt man das Instrument in die entsprechende Lage, bestimmt auf einer willkürlich getheilten Scala eine größere Zahl von Ausschlägen, welche bekannten Stromstärken entsprechen, und stellt diese Ausschläge graphisch — wie in Fig. 63 — dar, indem man die Stromstärken *A* und Scalentheile in ein Coordinatensystem aufträgt. Aus der Aichungscurve *OC* bestimmt man sich sodann die den ganzen Ampèrezahlen (5, 10, 15, 20 . . . Ampère) entsprechenden Theilungspunkte *a*, *b*, *c*, *d* . . , welche auf der Scala nunmehr aufgetragen werden.



ad 2. Die Elektrodynamometer. Bei denselben wird die Wirkung einer festen, vom Strome durchflossenen Spule auf eine bewegliche Rolle zur Messung der Stromstärke benützt. Der elektrodynamischen Wirkung wirkt wieder die Elasticität einer Feder, die Schwere u. dgl. m. entgegen.

Als ein Beispiel solcher Apparate ist in den Figuren 64 und 65 das Torsions-Elektrodynamometer von Siemens & Halske dargestellt.

Im Principe besteht dasselbe aus einer an einem Holzrahmen befestigten fixen Spule S (Fig. 64) und einer beweglichen Rolle s. Beide Spulen werden vom Strome hintereinander durchflossen. Die Enden der beweglichen Spule sind mit den Enden der fixen, durch Quecksilbernäpfe q (Fig. 65) verbunden. Die Rolle s hängt an einem Coconfaden und an einer Neusilber-Spiralfeder f, welch' letztere durch den Knopf k verdreht werden kann.

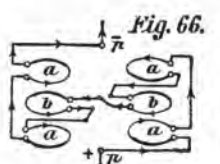


Der Torsionswinkel wird durch einen Zeiger z gemessen, der sich über einer Scala r bewegt. Der Messbereich des Instrumentes beträgt bei Ausführungen mit zwei festen, ablenkenden Spulen 5 bis 15, bezw. 15 bis 100 Ampère.

Zum Messen wird das Instrument zuerst horizontal aufgestellt und der Knopf k solange gedreht, bis der bewegliche Rahmen s senkrecht auf dem fixen Rahmen S steht. Dies wird durch den Zeiger z_1 angezeigt, welcher dem Nullpunkte der Scala gegenüber stehen muss. Durch den Strom wird nun die bewegliche Rolle s abgelenkt und durch die Verdrehung am Knopfe k, die abgelenkte Rolle wieder in ihre Ruhelage zurückgebracht.

Das Gesetz des Elektrodynamometers ist:

$$i = k\sqrt{\delta},$$



d. h. die Stromstärke ist proportional der Quadratwurzel des Torsionswinkels δ. — k ist eine vom Instrumente abhängige Constante, die stets auf dem Instrumente angegeben ist.

Sind bei den elektrodynamischen Messapparaten die beiden Windungssysteme (fixes und bewegliches über oder nebeneinander, und gleichzeitig parallel zu einander angeordnet, so nennt man derlei Apparate nach ihrer waageformartigen Anordnung und Wirkung „Stromwaagen“. Diese Instrumente eignen sich zum Messen beträchtlicher Stromstärken (bis zu 2.500 Ampère).

Nach der principiellen, in der Fig. 66 dargestellten Einrichtung unterstützen sich die vier fixen Spulen a in ihrer Wirkung auf die beweglichen Rollen b, welche mittels Zapfen derart aufgehängt sind, dass sie vollkommen frei schwingen. Die Ablesung geschieht durch das Verschieben eines Normalgewichtes an einem Lineal, welches das elektrodynamische Drehmoment compensiert.

7. Die Messmethoden.

Dieselben können sein:

1. Directe, durch Messungen nach chemischem oder magnetischem Maße. Hiebei kann in letzterem Falle die absolute Messung mit Hilfe einer Tangentenboussole ausgeführt werden, soferne man nämlich die Seite 45 angegebenen Größen H und r in absoluten Einheiten schon bestimmt hat, oder man misst relativ mittels eines Galvanometers, wenn dessen Reductionsfactor k (siehe unten) experimentell bestimmt worden ist. Die Stromstärke ist dann proportional der Tangente des Ablenkungswinkels. Die Schaltung der Apparate bei directen Messungen zeigt die Fig. 67, wobei G das Galvanometer, w einen variablen Vorschaltwiderstand darstellt.

Fig. 67.

Der Anwendungsbereich dieser Methode ist von den verwendeten Strommessern abhängig. Die auf Seite 45 unter a) bis e) angeführten Instrumente dienen für schwache, die Ampèremeter auf Seite 48 für stärkere Ströme. Für sehr starke Ströme erhalten die unter f) genannten Apparate eine besondere Construction. Die voltametrischen Methoden sind bei Stromstärken über 50 Ampère nicht mehr anwendbar.

2. Indirect kann die Stromstärke aus einer ermittelten Spannungsdifferenz und aus dem bekannten Leitungswiderstand gerechnet werden. Es ist $i = \frac{e}{w}$. Die Spannungsdifferenz wird in diesem Falle durch ein Spannungsgalvanometer gemessen, der Widerstand w wird durch einen eigens construierten „Normalwiderstand“ dargestellt.

Die indirecte Messmethode wird bei großen Stromstärken (1 bis 1.000 Ampère) und manchmal bei Combinationsmessungen (z. B. bei Dynamomaschinen etc.) angewendet.

Beispiel. 1. In einem Stromkreise (Fig. 68) ist eine galvanische Batterie E, ein Voltameter V und eine Tangentenboussole T hintereinander geschaltet. Während 30 Minuten konnte die Nadel der Boussole beständig auf 30° erhalten werden und es wurden hiebei 1·5g Kupfer niedergeschlagen. Wie groß ist der Reductionsfactor der Tangentenboussole?

Fig. 68.

Da $J = x$ tang 30° ist, wird $x = \frac{J}{\text{tg } 30^\circ}$ sein. Nun ist

$$J = \frac{1.500 mg}{30.19 \cdot 7} = 2 \cdot 5 \text{ A. folglich } x = \frac{2 \cdot 5}{0 \cdot 57} = 4 \cdot 4.$$

Fig. 69.

2. Ein Universalgalvanometer U ist, wie die Fig. 69 zeigt, im Nebenschluss zum messenden Stromkreise J geschaltet. Der Galvanometerwiderstand mehr dem Zusatzwiderstand w ist $= 2.000\ \Omega$, während der Widerstand von $a\,b\ w_1 = 1\ \Omega$ ist.

Als Ablesung ergibt sich am Universalgalvanometer ein Ausschlag $\alpha = 43 \cdot 2°$. Da der Reductionsfactor des Instrumentes $c = 0 \cdot 000132$ ist, so wird

$$i = c \sin \alpha = 0 \cdot 000132 \times 0 \cdot 6845 = 0 \cdot 00009 \text{ A. sein.}$$

Der Hauptstrom J wird sonach $J = 2.000 \times 0 \cdot 00009 = 0 \cdot 18$ A. sein.

8. Der elektrische Druck oder die Spannung.

Mit demselben wird der Druck bezeichnet, mit welchem die Elektricität durch den Querschnitt des Stromleiters gepresst wird. Unter sonst gleichen Umständen ist er umso größer, je größer die elektromotorische Kraft der Elektricitätsquelle ist.

Früher hatte man zum Vergleiche des Druckes die elektromotorische Kraft des Daniell-Elementes benützt und für diese die Verhältniszahl 12 erhalten, wenn man die Stromintensitäten in Jakobi-Einheiten und die Widerstände nach Siemens-Einheiten gemessen hat. (Beispielsweise ist die elektromotorische Kraft eines Bunsen-Elementes = 1·7 Daniell.)

Als neue praktische, auf das CGS-System bezogene Einheit wurde das „Volt" definiert, d. i. nämlich jener Druck, welcher der Stromstärke von 1 Ampère bei einem Widerstande von 1 Ohm entspricht. In absoluten Einheiten ist das Volt sonach das $10^{-1} \times 10^{9} = 10^{8}$fache der absoluten Einheit der elektromotorischen Kraft, oder jener beim absoluten Widerstande Eins und der Stromstärke Eins [1]). Im Vergleiche zur vorerwähnten älteren, willkürlichen Einheit ist 1 Volt = 0·95 Daniell-Einheiten.

Fig. 70.

Je nach der Größe des Druckes unterscheidet man in der Praxis hoch- oder niedergespannten Strom. Letzterer umfasst praktische Spannungen unter 500 Volt. Sehr hohe Spannungen liefern z. B. die Funkenentladungen (5 bis 15.000 Volt), der Blitz u. dgl. m.

Den Druckunterschied zwischen zwei beliebigen Stellen a und b (Fig. 70) einer elektrischen Leitung bezeichnet man als „Spannungsdifferenz" oder kurzweg als Spannung (auch Potentialdifferenz). Ist i die Stromstärke und w der Widerstand des Leiterstückes $a\ b$, so ist

$$e = i\,w.$$

Die Spannungsdifferenz zwischen den Polen von Generatoren (Maschinen, Elementen etc.) heißt man die „Polspannung" (Maschinen-Klemmenspannung). Der Ausdruck „Spannung" ist wohl zu unterscheiden von jenem der „elektromotorischen Kraft", welcher Seite 25 definiert worden ist.

Da bei der Annahme von fließenden Medien, zwischen zwei verschiedenen Querschnitten einer Leitung infolge des Widerstandes eine Spannungsabnahme (oder ein Spannungsverlust, Kraftverlust) statthaben muss, so ist die elektromotorische Kraft einer Elektricitätsquelle stets gleich dem Spannungsverbrauche in der Leitung, mehr jenem zur Überwindung des Widerstandes in der Quelle selbst [2]).

---

[1]) Das Volt ist eigentlich die Einheit des Potentials, d. i. der auf die Masseneinheit bezogenen Arbeitseinheit. Es lässt sich auch dasselbe als „jene Differenz" definieren, „welche erzeugt wird, wenn ein Leiter in einem gleichförmigen Felde von der Intensität Eins sich zu den Kraftlinien senkrecht so bewegt, dass er in der Zeiteinheit die Fläche Eins beschreibt."

Nach ersterer Definition ist $1\ \text{Volt} = \frac{1\ \text{Joule}}{1\ \text{Coulomb}}$.

Fig. 71.

[2]) Trägt man sich in Fig. 71 auf der Horizontalen den Widerstand der Leitung $AB = w_1$, ferner $BC = w$ den Widerstand der Elektricitätsquelle auf, so geben die Verticalen $BF = e$ und $CD = E$ die Größe der Klemmenspannung, bezw. jene der elektromotorischen Kraft.

Sind zwei oder mehrere elektromotorische Kräfte in einem Stromkreise vorhanden, so werden diese entweder in demselben Sinne wirken, oder sich bei entgegengesetzter Polarität (Gegenschaltung) zu schwächen suchen. Der Gesammtdruck erscheint im letzteren Falle als die Differenz der elektromotorischen Kräfte.

Beispiele. 1. In demselben Stromkreis sind mit einer Sinusboussole ein Bunsen- und ein Daniell-Element geschaltet. Bei gleicher Stromrichtung der Elemente ergibt die Boussole einen Ausschlag von $\alpha = 40^\circ$, bei entgegengesetzter von $\alpha_1 = 10^\circ$. Wie groß ist die elektromotorische Kraft des Bunsen-Elementes, wenn jene des Daniell-Elementes = 1 ist?

$$E_B = 1 \, . \frac{\sin 40 + \sin 10^\circ}{\sin 40 - \sin 10^\circ} = 1{\cdot}8 \; E_D.$$

2. Eine Dynamomaschine M der Küstenbeleuchtungsapparate liefert im normalen Betriebe 80 Ampère bei 85 Volt Maschinen-Klemmenspannung. Wie groß ist der Spannungsverlust e_1 in dem angeschalteten 400*m* langen, 8·8*mm* dicken Lichtkabel L, und welche Endspannung e_2 herrscht an den Klemmen des Schaltbrunnens?

$$e = 85 \text{ V. und } J = 80 \text{ A., } w = \frac{2 \times 400 . 0{\cdot}02}{60} = 0{\cdot}26 \text{ Ohm,}$$

daher $e_1 = 80 \times 0{\cdot}26 = 20{\cdot}8$ Volt und $e_2 = 85 - 20{\cdot}8 = 64{\cdot}2$ Volt.

Wird nun der Schaltbrunnen mit der Lampe durch ein 50*m* langes, 7*mm*-iges flexibles Kabel verbunden, so ist der Kabelwiderstand = 0·05 Ω und der Spannungsverlust e_3 im Kabel = 4 Volt. Die Lampenspannung sollte sonach 60 Volt betragen. Da in Wirklichkeit dieselbe aber 55 Volt beträgt, müssen noch 5 Volt durch einen „Zusatzwiderstand" aufgezehrt werden.

9. Die Mittel zum Messen von Spannungen.

Um elektromotorische Kräfte zu messen, kann man:

a) Die elektromotorische Kraft eines bekannten galvanischen Elementes als Einheit wählen und mit dieser die zu bestimmende, elektromotorische Kraft durch directen Vergleich ermitteln. Hiezu werden sogenannte Normalelemente (Daniell, Clark u. dgl. m.) verwendet, die eine möglichst constante, elektromotorische Kraft besitzen.

b) Kann indirect die magnetische Wirkung des Stromes zur Spannungsmessung benützt werden. Schaltet man zwischen zwei Punkten *a b* (Fig. 69), deren Spannungsunterschied zu messen ist, ein Galvanometer *u* von großer Empfindlichkeit und hohem Widerstande (2.000 bis 3.000 Ω), so dass letzterer bei dem ihn durchfließenden, schwachen Strome als nahezu constant angesehen werden kann, so wird nach dem Ohm'schen Gesetze $e = iw$ sein. Da nun bei hohem Widerstande, w als constant angesehen werden kann, wird die Spannungsanzeige proportional der Stromanzeige i des Galvanometers gesetzt werden können.

Man kann solchergestalt jedes Galvanometer, das zum Messen schwacher Ströme geeignet ist, auch zum Messen von Spannungen benützen, wenn man nur den Widerstand im Stromkreise des Instrumentes sehr groß macht. Solche empirisch geaichte Voltmeter sind meist dem Ampèremeter analog construiert. Die Ablenkungsspule ist aber aus vielen Windungen dünnen Drahtes hergestellt

und eventuell werden noch besondere Widerstände (Spulen) in oder neben dem Apparate angebracht, um den Widerstand des Instrumentes zu erhöhen. Die Scalen der Voltmeter sind direct in „Volt“ getheilt.

Der am meisten zu exacten Spannungsmessungen in der Technik verwendete Apparat ist:

Das Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske. Dieses in zweifacher Ausführung (für starke und schwache Ströme) in der Praxis vorhandene Instrument eignet sich neben der Messung von Spannungen auch noch für jene der Stromstärke.

Fig. 72.

Ein Glockenmagnet G (Fig. 73) hängt mittels eines Seidenfadens zwischen zwei Multiplicatorgewinden s und trägt oben mittels eines Messingstabes a zwei Aluminiumplättchen h, welche sich zwischen zwei fixen Messingblechen bewegen können. Durch die flügelartigen Bleche x (Fig. 74) werden die Schwingungen des Magneten G gedämpft. Eine Spiralfeder f (Fig. 73), ist einerseits an a, anderseits an dem Knopfe k befestigt. An diesem Torsionsknopfe k sitzt ein Zeiger z^1, welcher auf einer Theilung (Fig. 74) spielt, die sich auf dem Deckel des Glasgehäuses befindet. An dem Stabe a ist der Aluminiumzeiger z angesetzt, der auf den Nullpunkt der in 180 Doppelgrade getheilten Scala von unten spielt, sobald der Zeiger z^1 ebenfalls auf Null steht und der Magnet G in den magnetischen Meridian eingestellt ist.

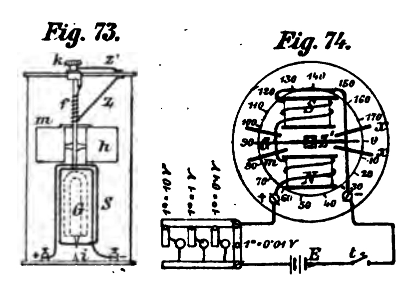


Fig. 73. *Fig. 74.*

Zur Messung stellt man das Instrument derart auf, dass nach Lüftung der den Glockenmagnet fixierenden Klemmschraube n (Fig. 72), der Magnet frei sich bewegen kann. Durch Drehen der Fußschrauben u wird derselbe vertical gestellt. Hierauf dreht man nach Lüftung einer zweiten, am Gehäusefuße vorhandenen Klemmschraube das Gehäuse derart, dass der Magnet in den magnetischen Meridian gelangt. Wird das Instrument sodann an die Stromquelle E (Fig. 74) angeschlossen, und erfolgt durch einen Taster oder Schlüssel t Stromschluss, so wird der Magnet G abgelenkt. Man dreht nun den Knopf k im entgegengesetzten Sinne so weit, bis der Magnet infolge der Federkraft von f wieder in den Meridian, bezw. sein Zeiger z auf Null zurückgeführt worden ist.

Der Winkel φ, um welchen die Feder f zusammengedreht worden ist, ist der Stärke des (das Instrument durchfließenden) Stromes i proportional; also $i = k\varphi$, worin k einen „Reductionsfactor“ bezeichnet, der beim Instrumente für schwache Ströme 0·001, bei jenem für starke Ströme 0·0001 beträgt.

Dem Instrumente ist (s. Fig. 74) noch ein Widerstandskasten mit den Zusatzwiderständen 9, 99, 999, 9.999, bezw. 900, 9.900, 99.900 Ohm beigefügt, welche den Widerstand des Instrumentes (1, bezw. 100 Ω nach den eben

bezeichneten zwei Ausführungen) auf 10, 100, 1.000, 10.000, bezw. 1.000, 10.000, 100.000 Ω ergänzen.

Für Spannungsmessungen wird das Instrument nach dem Schema (Fig. 75) geschaltet, in welchem g das Torsionsgalvanometer, z der Zusatzwiderstand, AB die Punkte sind, zwischen welchen eine Spannungsdifferenz gemessen werden soll.

Fig. 75.

Diese Spannungsdifferenz zwischen den Punkten AB kann durch die Gleichung ausgedrückt werden:

$$e = i\,(z + g), \text{ worin}$$

für $i = k\varphi$ gesetzt,

$$e = k\varphi\,(z + g) \text{ wird.}$$

(Z. B. beim Instrument für schwache Ströme wird, da $g = 1\,\Omega$, $k = \frac{1}{1.000}$ ist, $e = \frac{z+1}{1.000}\,\varphi$ sein.)

Es ist leicht einzusehen, dass je größer z wird, umso größer der Messbereich des Instrumentes wird. Man nennt den Coëfficienten, mit welchem die auf der Scala des Instrumentes abgelesenen Grade multipliciert werden müssen, um die Spannung in „Volt" anzugeben, die „Empfindlichkeit" des Instrumentes.

So repräsentiert der Zusatzwiderstand $z = 0$ die Empfindlichkeit I, jener $z = 9$ die Empfindlichkeit II, $z = 9.999$ aber die Empfindlichkeit V.

Es wird nämlich für diese verschiedenen Werte von $z = 0$ bis $z = 9.999$, die Spannung $e_1 = \frac{0+1}{1.000}\,.\,\varphi = \frac{\varphi}{1.000}$, $e_2 = \frac{9+1}{1.000}\,\varphi = \frac{\varphi}{100}$, $e_3 = \frac{99+1}{1.000} = \frac{\varphi}{10} \ldots$ und $e_5\,\frac{9.999+1}{1.000}\,\varphi = 10\,\varphi^0$, d. h. es entspricht in diesen speciellen Fällen dem Torsionswinkel von $\varphi = 1^0$, eine Spannung von $e = 0{\cdot}001$, $0{\cdot}01$ und 10 Volt. Für die Ausführung einer Messung stöpselt man also ein Loch des Zusatzwiderstandes (Fig. 74), welches gleichzeitig den Spannungswert pro 1^0 Torsionswinkel angibt. Die bei Stromschluss bewirkte Winkelablesung multipliciert mit der Empfindlichkeit, gibt die Spannungsangabe in „Volt".

Da die Anzeige des Instrumentes nicht über 170^0 hinausgehen soll, so ist die zulässig größte Spannungsanzeige, z. B. bei dem Apparate für starke Ströme bei der Empfindlichkeit V, gleich 1.700 Volt.

Dieses Torsionsgalvanometer misst also Spannungen von 0·17 bis 1.700 Volt.

Der Typ für schwächere Ströme besitzt, wie leicht abzuleiten, den gleichen Messbereich.

Fig. 76.

Die maximal zulässige, vom Apparat noch zu vertragende Stromstärke wird beim Apparat für starke Ströme

$$i = k\,.\,\varphi = \frac{170}{1.000} = 0{\cdot}17 \text{ A. sein.}$$

Der Messbereich für die Stromstärkemessung ergibt sich bei der hier nothwendigen Anwendung indirecter Messung und Einschaltung eines bekannten Abzweigewiderstandes w in dem Leiterstücke AB (Fig. 76):

$$J = \frac{e}{w} = \frac{z+1}{1.000}\,.\,\frac{\varphi}{w}.$$

Siemens & Halske wenden für w ein dickes Kupferkabel (0·001 Ω) an. Mit diesem lassen sich also Ströme bis zu 1.700 Ampère messen.

Beispiel: α) Spannungsmessung.

Die Klemmen- (Pol-) Spannung von 50 Leclanché-Elementen gibt bei der angewendeten Empfindlichkeit $1^\circ = 1$ Volt, einen Torsionswinkel $\varphi = 46^\circ$; folglich ist

$$e = 46 \text{ Volt.}$$

β) Strommessung.

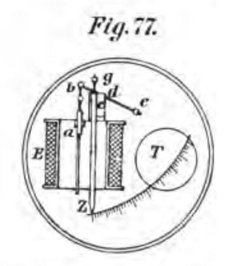
Für $w = {}^1/_{99}\,\Omega$ angenommen, gibt das bei AB (Fig. 76) angelegte Instrument bei der eingeschalteten Empfindlichkeit I ($z = 9$ oder $1^\circ = 0·01$ Volt), den Torsionswinkel $\varphi = 6·8^\circ$; folglich ist

$$i = \frac{9+1}{1.000} \cdot \frac{6·8}{0·01} = 6·8 \text{ A.}$$

Als ein Beispiel technischer Spannungsmesser sei im Nachfolgenden ein Voltmeter von Siemens & Halske kurz skizziert:

Das Voltmeter besitzt zwei einander parallele Eisenstäbchen a (Fig. 77), welche an der Axe b stets senkrecht hängen. Diese Stäbchen werden in eine mit ihrer Achse ebenfalls vertical stehende Drahtspule E hineingezogen. Die Stäbchen sind so klein, dass sie mit ihrer ganzen Länge innerhalb der Spule sich befinden. Die Axe b dreht sich in dem Rahmen c um die Achse d; der Rahmen c wird durch das Gegengewicht e im Gleichgewicht erhalten. Der Zeiger z ist fest mit dem Rahmen und der Achse d verbunden und stellt sich im stromlosen Zustande des Apparates in die verticale Lage. Um die Empfindlichkeit des Apparates ändern zu können, ist noch ein Laufgewicht g angebracht. Eine empirisch hergestellte Scala T zeigt die Spannung in „Volt" an. Zur Leitungsverbindung dienen zwei Polklemmen.

Fig. 77.



c) Man kann auch die Ausdehnung eines Platinfadens, welcher durch die Stromwärme erhitzt wird, benützen, um die Spannung zu messen. Fig. 78 zeigt das Schema eines Cardew-Voltmeters.

Fig. 78.

Der bei A befestigte Draht D führt über eine feste Rolle P. An der beweglichen Eintrittstelle B des Stromes ist ein Seidenfaden g befestigt, der über die Rolle r geschlungen und durch die Feder f gespannt wird.

Auf der Rolle r sitzt ein Zeiger, welcher auf einer Scala z spielt. W ist ein Vorschaltwiderstand. Dehnt sich nun der Draht aus, so senkt sich B und die Rolle r dreht sich mit dem Zeiger z

Dieses Instrument ist für Gleich- wie Wechselstrom gleich gut verwendbar. Die Nähe von selbst kräftigen Magneten beeinflusst nur unwesentlich seine Angaben.

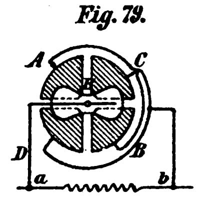
Alle technischen Voltmeter werden in der Weise gebraucht, dass ihre entsprechend bezeichneten Klemmen durch dünne Drahtleitungen an jene Punkte (Fig. 75) direct angeschlossen werden, zwischen welchen der Druckunterschied gemessen werden soll.

Die Aichung solcher Apparate geschieht, wie bei den Strommessern, durch directen Vergleich mit einem Normalinstrumente (Torsionsgalvanometer), indem man beide Apparate in denselben Stromkreis und an die gleichen Punkte schaltet und die Ablenkung ermittelt, welche verschieden starke Ströme hervorrufen. Durch die graphische Methode kann man, wie bei den Strommessern, die Scalen entsprechend untertheilen.

d) Für sehr hohe Spannungen, wie sie z. B. bei Wechselstromanlagen vorkommen, nimmt man eigene Spannungsanzeiger, die, wie z. B. beim Thomson'schen elektrostatischen Spannungsanzeiger, auf einem dem Quadranten-Elektrometer ähnlichen Principe basieren.

e) Die Elektrometer beruhen auf der Anziehung und Abstoßung, welche elektrisch geladene Körper auf einander ausüben. Im Principe besteht der die Spannungen direct messende Quadrantelektrometer (Fig. 79) aus vier isolierten Quadranten A bis D eines Metallcylinders, von welchen A und B, C und D leitend verbunden und gleich stark positiv, bezw. negativ geladen werden. Ober diesen vier Cylindersegmenten hängt als dritter Leiter ein beweglicher Metallkörper (die Nadel) E, welche im Ruhezustande symmetrisch zu den vier Quadranten liegt; der Ausschlag dieser Nadel kann durch einen darüber angebrachten Spiegel bemerkbar gemacht werden.

Fig. 79.



Ist E ungeladen, so wird die Nadel von $ABCD$ gleichmäßig angezogen und ändert ihre Stellung nicht. Erhält jedoch der Körper E, z. B. eine $+$ Ladung, so wird er von AB abgestoßen, von CD angezogen und so lange sich drehen, bis eine Spiralfeder der anziehenden oder abstoßenden Kraft das Gleichgewicht hält.

Zur Messung constanter Spannungen ladet man zunächst AB und CD, indem man sie mit den Polen einer isolierten Batterie verbindet; E verbindet man einerseits mit dem einen Pole einer zweiten Batterie von genau bekannter elektromotorischer Kraft (e), während der andere Pol mit der Erde verbunden wird. Die Ablenkung φ ist proportional der bekannten elektromotorischen Kraft:

$$\varphi = k\,e.$$

Verbindet man nun einen der beiden Punkte ab (Fig. 79), an welchen die Spannungsdifferenz gemessen werden soll, mit E, den anderen mit der Erde, so wird der Ausschlag $\varphi^1 = k\,E$ sein.

Hieraus folgt $E = \frac{\varphi^1}{\varphi} e.$

Durch Parallelschaltung einer Reihe von Quadranten und der dazwischen befindlichen Nadeln kann man diese Apparate auch für Spannungen bis zu 100 Volt verwendbar machen.

10. Die Methoden zur Messung von Spannungen.

Dieselben sind je nach den Messmitteln verschieden.

a) Arbeitet man (wie bei Laboratoriumsversuchen) mit Normalelementen, so empfiehlt sich die galvanometrische Methode, u. zw. jene, in welcher das Normalelement vom Strome nicht beansprucht wird (Compensationsmethode),

oder die einen beschränkteren Messbereich zulassende Anwendung eines Elektrometers, oder eines Condensators in Verbindung mit einem Galvanometer [1]).

b) Indirect kann man nach dem Ohm'schen Gesetze die Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten einer Stromleitung dadurch bestimmen, dass man den Widerstand in Ohm, die Stromstärke in Ampère misst; das Product gibt sodann E in Volt. Endlich kann man noch

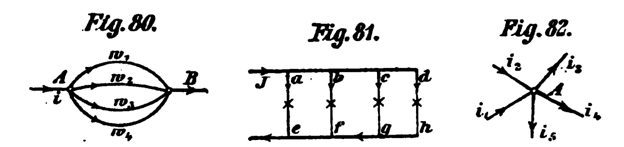
c) die Spannung mit dem Torsionsgalvanometer messen.

b) Der verzweigte Stromkreis.

1. Die Kirchhoff'schen Gesetze.

Unter einer Stromverzweigung versteht man ein Leitersystem, bei welchem mehrere Wege für die Fortpflanzung des elektrischen Stromes offen stehen. Es ist dies die in der Praxis am häufigsten vorkommende Form der Stromfortführung, für welche nachfolgende Sätze gelten.

a) In jedem verzweigten Leitersysteme ist der reciproke Wert des Gesammtwiderstandes W gleich der Summe der reciproken Werte der Einzel- (oder Zweig-) Widerstände [2]).



Es wird sonach bei dem System AB (Fig. 80), in welchem w_1 w_2 w_3 w_4 die Zweigwiderstände bedeuten, der reciproke Wert des Gesammtwiderstandes

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \frac{1}{w_4},$$

oder ganz allgemein

$$\frac{1}{W} = \Sigma \frac{1}{w} \text{ sein.}$$

Beispiel. In dem Leitersysteme Fig. 81 sind an den Abzweigestellen $a\,b\,c\,d$ der Stromzuführung vier Glühlampen à 200 Ω Widerstand angeschlossen. Wie groß ist bei Vernachlässigung der Zuleitungswiderstände der Gesammtwiderstand des Systems?

$$\frac{1}{W} = 4 . \frac{1}{w} = \frac{4}{200}, \text{ daher } W = \frac{200}{4} = 50\ \Omega.$$

b) An jedem Verzweigungspunkte ist die algebraische Summe der Stromstärken gleich Null. (1. Kirchhoff'scher Satz.) Dies gilt unter der Voraussetzung, dass ein stationärer Zustand vorhanden ist

[1]) Hinsichtlich der Durchführung dieser Messmethoden muss auf die größeren Handbücher verwiesen werden.

[2]) Die einfachere Regel lautet:

„Die Leitungsfähigkeit des Gesammtstromkreises ist gleich der Summe der Leitungsfähigkeiten der einzelnen Zweige."

und die nach der Vereinigungsstelle A (Fig. 82) gerichteten Theilströme als positiv, die von derselben wegfließenden als negativ bezeichnet werden.

Für den Knotenpunkt A (Fig. 82) muss sonach die Gleichung gelten:

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5 \quad \text{oder}$$
$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 - i_5 = 0$$

oder es muss allgemein $\Sigma i = 0$ sein.

Beispiel: Beträgt im Beispiele Fig. 81, die pro Glühlampe nothwendige Stromstärke 0·5 Ampère, so muss, wenn J den, zu den Knotenpunkten fließenden Gesammtstrom bedeutet:

$$J = \Sigma i = 4 \times 0{\cdot}5 = 2 \text{ A. betragen.}$$

c) Wirken in einem geschlossenen Leitersysteme in den Punkten $ABCD$ (Fig. 83) die elektromotorischen Kräfte E_1 E_2 E_3 E_4, während in den Knotenpunkten F, G, H, J ein Zu- oder Abfluss von Elektricität stattfindet, sind ferner i_1 i_2 i_3 i_4 die zwischen zwei aufeinander folgenden Zu- und Abströmungsstellen auftretenden Stromintensitäten, w_1 w_2 w_3 w_4 die in diesen Strecken vorhandenen Widerstände, so muss

Fig. 83.

$$E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = i_1 w_1 + i_2 w_2 + i_3 w_3 + w_4 i_4,$$

oder allgemein

$\Sigma E = \Sigma i w$ sein, d. h.: in jedem in sich geschlossenen Stromkreise ist die Summe der elektromotorischen Kräfte gleich der Summe der Producte aus den Stromstärken in die Widerstände der einzelnen Zweige. (2. Kirchhoff'scher Satz.) Hiebei müssen, wenn man einen solchen in sich geschlossenen Theil der Leitung betrachtet, die in demselben Sinne wirkenden elektromotorischen Kräfte E mit dem gleichen, die entgegengesetzt wirkenden mit dem entgegengesetzten Vorzeichen genommen werden. ΣE ist also eine algebraische Summe.

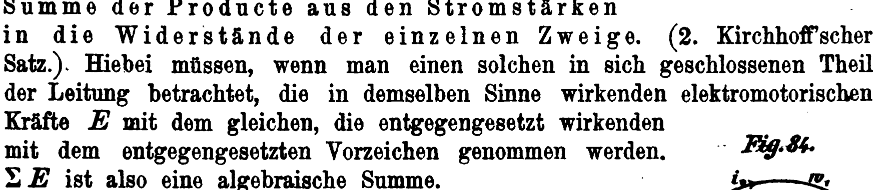


Fig. 84.

Wird i constant, so gibt die obige Gleichung das Ohm'sche Gesetz ($\Sigma E = i \Sigma w$).

Beispiel. In der Fig. 84 verzweige sich der, von der Elektricitätsquelle E kommende Strom J in die Zweigströme i_1 und i_2. In den beiden Leitertheilen vom Widerstande w_1, w_2 sei keine elektromotorische Kraft vorhanden. R sei der Widerstand der Zuleitung zu den Knotenpunkten a und b. Sonach wird nach Gleichung b)

$$J - i_1 - i_2 = 0 \quad \text{oder} \quad J = i_1 + i_2 \text{ sein.}$$

Nach c) wird $\Sigma E = 0 = i_1 w_1 - i_2 w_2$ sein.

Letztere Gleichung gibt die Proportion

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1};$$

d. h. es verhalten sich die Stromstärken der Theilströme, wie umgekehrt die Zweigwiderstände. Dieser Satz gilt ganz allgemein.

Der Gesammtwiderstand wird sein:

$$W = R + \left(\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}\right) = R + \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}.$$



Von der Gleichung $\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1}$ wird nun in vielen Fällen der „Nebenschließung" Gebrauch gemacht. Wenn man z. B. behufs Messung von Stromstärken den starken Strom durch einen gegebenen Messapparat (Galvanometer) nicht durchschicken kann, da das Instrument für große Stromstärken nicht gebaut ist, so legt man es in einen Nebenschluss, oder in eine Abzweigung (shunt), wie dies die Fig. 85 darstellt. Ist z. B. die zu messende Stromstärke im ungetheilten Stromkreise $J = 200$ Ampère, ferner $i_2 = 0{\cdot}05$ Ampère die Stromstärke im Messinstrumente, welche dasselbe normal verträgt, endlich $w_2 = 2.000\ \Omega$ der Widerstand des Instrumentes G, so muss

Fig. 85.

$$J = i_1 + 0{\cdot}05 = 200 \text{ A. oder } i_1 = 199{\cdot}05 \text{ A. sein.}$$

Da nun $\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1}$, also $\frac{199{\cdot}05}{0{\cdot}05} = \frac{2.000}{w_1}$ ist, wird $w_1 = 0{\cdot}5\ \Omega$ sein müssen, d. h. es wird zwischen den Punkten a und b ein solcher Apparat einzuschalten kommen, welcher einen Widerstand von $0{\cdot}5\ \Omega$ besitzt. Bei dieser Anordnung kann also das fragliche Instrument, mit welchem man i_2 ermittelt, zur Messung von J verwendet werden.

Zeigt das verwendete Instrument (z. B. eine Tangentenboussole) eine Stromstärke $i_2 = k \operatorname{tg} \alpha = 0{\cdot}01$ A. an, so wird, da nach Obigem

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{2.000}{0{\cdot}5} = 4.000 \text{ ist,}$$

$$i_1 = 4.000 \,.\, i_2 = 40 \text{ A. und } J = i_1 + i_2 = 40{\cdot}01 \text{ A. sein.}$$

Will man, wie dies bei manchen Strommessungen der Fall ist, nur $^1/_{10}$, $^1/_{100}$, $^1/_{1000}$ des Stromes durch den Strommesser gehen lassen, so muss, wie leicht zu rechnen ist, der Nebenschlusswiderstand $^1/_9$, $^1/_{99}$, $^1/_{999}$ des Instrumenten-Widerstandes betragen.

Es ist weiters leicht einzusehen, dass Widerstände zum Instrument zugeschaltet (Zusatzwiderstände), die Stromstärke im ungetheilten Stromkreise ändern werden, und dass man daher, um die Stromstärke J constant zu erhalten, im ungetheilten Stromkreise Widerstand einschalten muss (Ergänzungswiderstand).

c) Schaltungsarten.

Sollen mehrere Stromerzeuger (Elemente, Accumulatoren, Dynamos) oder mehrere Leiter, Lampen, Motoren oder sonstige Gebrauchsapparate in einer elektrischen Anlage Verwendung finden, so können sie entsprechend den vorbesprochenen Hauptarten der Leitungssysteme in folgender Form gruppiert oder miteinander verbunden (geschaltet) werden:

Fig. 86.

1. Werden mehrere Stromquellen (Lampen etc.) in ein und dieselbe Leitung eingeschaltet, so zwar, dass sich zwischen den Punkten AB (Fig. 86) eine Spannungsdifferenz ΣE ergibt, so nennt man eine solche Verbindungsweise der Stromquellen, eine Hintereinanderschaltung (Reihenschaltung), auch „Schaltung auf Spannung."

Seien vorerst nur Stromquellen hintereinander zu schalten, deren Gesammt-Elektromotorische Kraft ΣE, deren Widerstand Σw ist, so muss bei stationärem Zustande und bei dem Widerstande R der Zuleitung nach dem Ohm'schen Gesetze:

$$J = \frac{\Sigma E}{\Sigma w + R} \text{ sein.}$$

Σw bedeutet den inneren Widerstand, während R den äußeren oder Schließungswiderstand bezeichnet.

Wird $E_1 = E_2 = E_3 = \ldots$, so wird auch $w_1 = w_2 = \ldots$, und es wird $J = \frac{n E}{n w + R}$ sein.

Bei Anwendung von nur einer Stromquelle und mehreren, hintereinander geschalteten Verbrauchsapparaten (Lampen, Motoren etc.) wird

$$J = \frac{E}{w + \Sigma R},$$

wenn R_1, R_2 die Widerstände der eingeschalteten Vorrichtungen sind.

Aus den Gleichungen für J ersieht man, dass bei dieser Schaltungsweise der Strom mit derselben Intensität alle hintereinander geschalteten Apparate durchfließt, dass hingegen die elektromotorische Kraft, bezw. das bei den Verbrauchsapparaten nothwendige Spannungserfordernis n-mal so groß geworden ist, und auch der wesentliche Widerstand die n-fache Größe des Widerstandes eines einzelnen Elementes besitzt.

Nimmt man in der Gleichung $J = \frac{n E}{n w + R}$, R verschwindend klein [1]) gegen $n w$ an, so kann man $J_{max} = \frac{n E}{n w} = \frac{E}{w}$ setzen, woraus $n E = J_{max}\, w\, n$ folgt; d. h. die Stromstärke ist unabhängig von der Zahl der Elemente und ist gleich jener, welche nur von einem Elemente geliefert wird, während die Spannung n-mal so groß wird.

Ist umgekehrt R gegen $n w$ sehr groß, so dass jetzt $n w$ vernachlässigt werden kann, so wird

$$J_1 = \frac{n E}{R},$$

d. h. die Stromstärke ist proportional der Zahl der Elemente. Hat man daher einen großen äußeren Widerstand, so muss man, da mit der Zunahme der Stromstärke auch die Arbeit $J \times E$ größer wird, die Elemente hintereinander schalten.

Beispiel. Für n hintereinander geschaltete Elemente von $E = 2 \cdot 06$ Volt und $w = 0{\cdot}25\ \Omega$ ist die Intensität

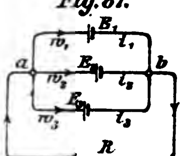
$$J = \frac{2{\cdot}06 \times n}{R + 0{\cdot}25\, n};$$

für $R = 0$, wird $$J_{max} = \frac{2{\cdot}06}{0{\cdot}25} = 8{\cdot}24 \text{ A.}$$

---

[1]) In dem Falle, wo der äußere Widerstand praktisch Null ist, sagt man, das Element sei „kurz geschlossen"; dies tritt also bei unmittelbarer Verbindung zweier Pole durch einen kurzen Draht von geringem Widerstande ein.

Für $R = 0{\cdot}1\,\Omega$ wird: für 1 Element $i_1 = 5{\cdot}88$ A., für 2, 5, 10 und 20 Elemente, $i = 6{\cdot}86$, $7{\cdot}65$, $7{\cdot}92$, $8{\cdot}07$ A. Bei kleinem, äußeren Widerstande ist die relative Stromzunahme unbedeutend, so dass man die Stromstärke als nahezu constant ansehen kann.


Fig. 87.

Für $R = 20\,\Omega$ wird für 1, 2, 5, 10, 20 Elemente, $i = 0{\cdot}10$, $0{\cdot}20$, $0{\cdot}48$, $0{\cdot}91$, $1{\cdot}65$ A.

Die relative Stromzunahme wächst hier beträchtlich mit der Zahl der Elemente und damit auch das Arbeitsvermögen $(J \times E)$.

2. Haben die verschiedenen Elektricitätsquellen (oder die Vorrichtungen, Lampen etc.) ihren Sitz in den Theilen eines verzweigten Leitersystemes (Fig. 87), so nennt man diese Schaltungsweise eine Nebeneinanderschaltung (Parallel-, auch Quantitätsschaltung).

Hier müssen für die Größenbestimmung die Kirchhoff'schen Sätze angewendet werden.

Die Rechnung wird wesentlich vereinfacht, wenn man den, in der Praxis üblichen Fall annimmt, dass nur gleichartige Elektricitätsquellen derart miteinander verbunden werden, dass sie gleiche Pol-Lage in Bezug auf ihre Stellung in den einzelnen Zweigen besitzen. Unter dieser Voraussetzung wird, wenn $E_1 = E_2 = E_3$ und $w_1 = w_2 = w_3$ ist, $J = n\,i = \dfrac{E}{\frac{w}{n} + R}$ sein, wobei i der von einem Elemente gelieferte Strom ist. Bei Anwendung nur einer Stromquelle und mehreren, parallel geschalteten Verbrauchsapparaten wird

$$J_1 = \frac{E}{\frac{1}{\Sigma w} + R} = \frac{E\,\Sigma w}{1 + R\,\Sigma w} \text{ sein.}$$

Nimmt man in der Gleichung für J wieder an, dass der äußere Widerstand sehr klein ist, also $R = 0$ wird, so wird

$$J_{max} = \frac{E}{\frac{w}{n}} = n\left(\frac{E}{w}\right),$$

d. h. die Stromstärke, welche man erhält, ist n-mal so groß, als jene bei der Schaltung auf Spannung (oder im Kurzschlusse); sie ist proportional der Zahl der Elemente. Ist R gegen $\frac{n}{w}$ sehr groß, so wird $J_1 = \frac{E}{R}$ sein, d. h. die Intensität wird nur unbedeutend mit der Zahl der Elemente zunehmen.

Hat man sonach einen kleinen äußeren Widerstand, so wird man die Elemente auf Quantität schalten.

Beispiel. Für $n = 30$ Elemente, welche eine elektromotorische Kraft $E = 2{\cdot}06$ Volt und einen Widerstand $w = 0{\cdot}25\,\Omega$ besitzen, wird, wenn ferner $R = 20\,\Omega$ ist, bei der Schaltung auf Spannung:

$$J = \frac{2{\cdot}06 \times 30}{20 + 30 . 0{\cdot}25} = 2{\cdot}25 \text{ A.}$$

werden.

Bei der Schaltung auf Quantität wird $J_1 = \frac{2{\cdot}06}{20 + \frac{0{\cdot}25}{30}} = 0{\cdot}12$ A. sein.

Ist $R = 0{\cdot}1\ \Omega$, so wird bei der ersteren Schaltung $J_2 = \frac{2{\cdot}06 \times 30}{0{\cdot}1 + 0{\cdot}25 \times 30} =$

$= 8{\cdot}13$ A.; bei der letzteren Schaltung $J_2{}' = \frac{2{\cdot}06}{0{\cdot}1 + \frac{0{\cdot}25}{30}} = 19{\cdot}02$ A. sein.

3. Durch die Combination beider zuvor genannten Schaltungsweisen ergibt sich die gemischte Schaltweise (Parallel- und Hintereinanderschaltung).

Hat man z. B. $N = n \times m$ Elemente, von welchen je m durch Parallelschaltung zu einer Gruppe vereinigt und n solcher Gruppen hintereinander geschaltet werden können, so wird die Stromstärke im äußeren Stromkreise vom Widerstande R, $J = \frac{n E}{R + \frac{n w}{m}}$ sein.

J wird ein Maximum, wenn $R = \frac{n w}{m}$ wird; d. h. bei gegebenem Widerstande R und gegebener Elementenzahl N erhält man die größtmögliche Stromstärke dann, wenn die Schaltung so gewählt wird, dass der innere Widerstand $\left(\frac{n w}{m}\right)$ möglichst gleich dem äußeren Widerstande wird.

Beispiel. 1. Sind 30 Elemente mit $E = 2{\cdot}06$ Volt und $w = 0{\cdot}25\ \Omega$ gegeben, so kann man folgende Combinationen machen:

Für $n =$ 1, 2, 3, 5, 6, 10, 15, 30 und $m =$ 30, 15, 10, 6, 5, 3, 2, 1 wird $\frac{n w}{m} =$ 0·0083, 0·033, 0·075, 0·208, 0·30, 0·83, 1·87, 7·50.

Ist nun $R = 0{\cdot}1\ \Omega$, so wird man eine Schaltung wählen mit $n = 3$, $m = 10$. In diesem Falle wird

$$J = \frac{2{\cdot}06 \times 3}{0{\cdot}1 + \frac{0{\cdot}25 \times 3}{10}} = 35{\cdot}3 \text{ A.}$$

2. Will man in der Praxis für einen gegebenen äußeren Widerstand R und für eine gegebene Stromstärke J ermitteln, welche geringste Elementenzahl und welche Schaltungsweise man anwenden muss, um die gegebene Stromgröße J zu erreichen, so lehrt die theoretische Untersuchung, dass für den kleinsten Wert von N, $n = \frac{2 R . J}{E}$ sein muss.

Beispiel. Ein Bogenlicht der kleinen Gebirgs-Beleuchtungsapparate von 10 Ampère soll durch Bunsenelemente ($E = 1{\cdot}8$ Volt $w = 0{\cdot}25\ \Omega$) erzeugt werden; wie viel Bunsenelemente sind hiezu erforderlich?

Da das Bogenlicht für 10 Ampère eine Klemmenspannung von 45 Volt braucht, so wird $R = \frac{e}{J} = \frac{45}{10} = 4\cdot5\ \Omega$ sein.

Für $n = \frac{2RJ}{E} = \frac{2.4\cdot5.10}{1\cdot8} = 50$ wird, weil aus obiger Gleichung für $J = \frac{nE}{R + \frac{nw}{m}}$ und für $m = \frac{N}{n}$ gesetzt, $J = \frac{nE}{R + \frac{wn^2}{N}}$, bezw. $N = \frac{n^2 w}{\frac{nE}{J} - W}$ wird, sonach $N = \frac{2.500.0\cdot25}{\frac{55.1\cdot8}{10} - 4\cdot5} = 139$ sein.

Da nun $n = 50$ in $N = 139$ nicht theilbar aufgeht, wählt man $N = 150$ und schaltet diese zu je drei Elemente parallel.

4. Außer den vorbesprochenen allgemeinen Schaltweisen gibt es noch weitere specielle Anordnungen, betreff welcher die Erörterungen später folgen werden.

d) Die elektrische Arbeit.

1. Definition. Einheit.

Auf Seite 21 ist bereits erwähnt worden, dass mit den elektrostatischen Entladungen Wärmewirkungen verbunden sind.

Das Gleiche vermag nun auch der elektrische Strom zu leisten, der sowohl in der Leitung, als auch in der Elektricitätsquelle selbst, Wärmeentwicklungen hervorzubringen vermag.

Nach der von Joule und Anderen gemachten Experimental-Untersuchungen beträgt die gesammte, in einem geschlossenen Leiterkreise vom inneren Widerstande w und vom äußeren Widerstande r in der Zeit t entwickelte Wärmemenge $T = k\,i^2 (w + r)\,t$, wobei k einen willkürlichen Coëfficienten, i die Stromstärke und t die Zeitdauer bedeutet.

Nach der mechanischen Wärmetheorie kann diese Wärmemenge äquivalent gesetzt werden einer mechanischen Arbeit:

$$A = \frac{k\,i^2 (w + r)\,t}{424},$$

wenn 424 das mechanische Wärmeäquivalent beträgt.

Die Arbeit im Schließungsleiter allein ist:

$$A_s = \frac{k\,i^2 r\,t}{424} = \frac{k\,i\,e\,t}{424} \quad \text{oder}$$

für $\frac{k}{424} = k^1$ gesetzt, $A_s = k^1\,i\,e\,t$.

Der Wert von k^1 hängt nun von der Wahl der Einheiten für i und r, bezw. w ab [1]).

Der internationale Congress 1881 hat die Maßeinheit für die elektrische Arbeit ebenfalls auf das absolute Maßsystem bezogen und als Arbeits-

[1]) Für $i = 1$, $e = 1$, $t = 1$ wird $A_s = k^1 = 1$.

einheit jene Stromarbeit bezeichnet, welche ein Strom von der Intensität 1 Ampère bei 1 Ohm Widerstand der Leitung leistet. Dieser Arbeitseinheit entspricht (siehe Seite 4) das „Joule“ [1]).

Setzt man $k^1 = 1$ der Arbeitseinheit, so wird

$$A_s = i\,e\,t = i^2\,r\,t \text{ Joule sein.}$$

In der Praxis wird stets die secundliche Arbeit, — der „Effect“ — gemessen. Als Einheit hiefür wurde eingangs das „Watt“ (auch Voltampère), oder das Joule in der Secunde festgesetzt. Der Arbeitseffect eines elektrischen Stromes von der Intensität i und bei dem Drucke e ist sonach:

$$A_e = i \, . \, e \text{ Watt.}$$

Für die Leistung von Dynamomaschinen wird üblicherweise das „Kilowatt“ (= 1.000 Watt), für Centralen das „Hektowatt“ (= 100 Watt) als Einheitsmaß angenommen.

Will man die elektrische Arbeit in mechanischen Effecteinheiten (HP) ausdrücken, so braucht man nur das Product ie durch 736 zu dividieren, da

1 HP = 736 Watt entspricht.

Die innerhalb einer bestimmten Zeit (Stunden) geleistete Arbeit drückt man üblich in „Wattstunden“ aus.

Als praktische Einheit der Wärmemenge besteht die eingangs erwähnte Gramme-Calorie, welche einer Arbeit von 4·17 Joule entspricht, weil 1 J = 0·243 Gr.-Cal. ist [2]).

Die vom elektrischen Strome geleistete Wärmemenge T ist sonach auch

$$T = 0{\cdot}24\, e\, i\, t^0 \text{ Gr.-Cal.,}$$

wenn t^0 die erreichte Temperatur bezeichnet.

Beispiele. *a*) Eine Bogenlampe der Küsten-Beleuchtungsapparate verbraucht 80 Ampère, während an den Lichtkohlen (bei Gleichstrom) eine Spannungsdifferenz von 55 Volt sich zeigt. Welcher Energiebetrag wird von der Lampe aufgezehrt?

$$A_b = 80 \times 55 = 4.400 \text{ Watt} = \frac{4{\cdot}400}{736} = 6 \text{ HP}.$$

Die hiebei pro Minute entwickelte Wärmemenge ist

$$T = 0{\cdot}24 \,.\, 80 \,.\, 55 \,.\, 60 = 63.360 \text{ Gr.-Cal.}$$

b) Eine Glühlampe von 16 Kerzen Lichtstärke braucht bei 100 Volt Spannung 0·54 Ampère. Wie groß ist der Energiebetrag pro Kerze Lichtstärke?

$$A = 100 \,.\, 0{\cdot}54 = 54 \text{ Watt, sonach } A_k = \frac{54}{16} \doteq 3{\cdot}4 \text{ Watt.}$$

c) Welche Wärmemenge wird erzeugt, wenn durch einen 5*mm* dicken 100*mm* langen Kupferdraht vom specifischen Widerstande 0·2 ein Strom von 200 Ampère fließt?

---

[1]) Da nämlich 1 A. = 10^{-1}, 1 V. = 10^8 absolute Einheiten sind, so wird 1 A. × 1 V. = 10^7 absolute Einheiten oder 1 Joule sein. 1 Joule = 0·102*mk*.

[2]) Da 424*mk* = 1.000 Gramm-Calorien entsprechen (d. i. die Wärmemenge, welche nothwendig ist. um 1*kg* Wasser um 1° C. zu erwärmen), so ist $1mk = \frac{1.000}{424}$ Gr.-Cal. $1 \text{ Watt} = \frac{1}{9{\cdot}81}\, mk = \frac{\frac{1.000}{424}}{9{\cdot}81} = 0\,24$ Gr.-Cal.

Der Widerstand $w = \frac{100.0 \cdot 02}{19 \cdot 6} = 0 \cdot 1$ Ohm,

daher $T = 200^2.0 \cdot 1.0 \cdot 24 = 957$ Gr.-Cal.

Welche Temperatur erreicht hiebei der Draht?

Nimmt man das specifische Ausstrahlungsvermögen des Kupferdrahtes $k = 0 \cdot 0018$, so muss, damit eine constante Temperatur t^0 herrsche, die vom Strome erzeugte Wärmemenge gleich der vom Drahte ausgestrahlten sein; somit muss $t\, k\, \pi\, d\, l = J^2 w$ sein.

Da nun $d = 0 \cdot 5 cm$, $l = 100 m$ ist, wird $t^0 = \frac{0 \cdot 0018 . 3 \cdot 14 . 0 \cdot 5 . 100}{200^2 . 0 \cdot 1} = 144^0$ C.

d) Wie viele 100-voltige Glühlampen mit 0·54 Ampère Stromverbrauch gehen auf 1 HP?

$$736 : 54 = 14 \text{ Lampen.}$$

e) Eine Stromquelle liefert eine stündliche Arbeit von 1000 Watt. Da sie durch acht Stunden gebraucht wird, ist die geleistete Energie $8 \times 1.000 = 8.000$ Wattstunden.

2. Die Vertheilung der Arbeit im Stromkreise.

Betrachtet man nun die Arbeit in einem einfach geschlossenen Stromkreise (Textfigur 88), in welchem ein Verbrauchsapparat *M* (Lampe, Motor etc.) und eine Elektricitätsquelle *E* eingeschaltet sind, so setzt sich die Arbeit zusammen:

Fig. 88.

a) aus der im Apparate *M* und

b) aus der im Schließungsleiter *L* zu leistenden, dann

c) aus der in der Elektricitätsquelle *E* aufzuwendenden Arbeit.

Sind *l*, *r*, *w* die Widerstände der angeführten drei Theile *M*, *L*, *E*, so ist die im gesammten Stromkreise auftretende Stromarbeit:

$$A = J^2 (l + r + w).$$
$$= J^2 w + J^2 (l + r).$$

Von dieser Gesammtarbeit kommt nur der im äußeren Schließungskreise *L* zu leistende Theil in Betracht, der sich aus dem Arbeitserfordernisse für die Lampe (Motor etc.) und aus dem Arbeitsverluste im Schließungsleiter *L* zusammensetzt.

Den Arbeitsbetrag $N = J^2 l$, bezeichnet man als „Nutzarbeit“, und das Verhältnis dieser zur Gesammtarbeit $\frac{J^2 l}{J^2 (l + r + w)} = \alpha$ als den „elektrischen Wirkungsgrad“, das „Güteverhältnis“, oder nennt es auch den „ökonomischen Coëfficienten“.

Theoretisch würde die äußere Arbeit am größten sein, wenn der Widerstand in den Apparaten *l* mehr jenem im Schließungsleiter *r*, gleich jenem der Stromquelle *w* ist, also $l + r = w$. Dann beträgt die Nutzarbeit die Hälfte der Gesammtarbeit des Stromes, oder das Güteverhältnis ist 0·5.

In der Praxis wird es jedoch meist möglich sein, unter gewissen Verhältnissen mehr als die Hälfte der ganzen Stromarbeit verfügbar zu machen, wie dies z. B. bei den Dynamomaschinen etc. der Fall ist, welche 80 bis 95% der Gesammtarbeit als Nutzarbeit liefern.

Graphisch kann man sich nach Fig. 71, Seite 52 die Arbeit darstellen, wenn man im Dreiecke ADG den Winkel ADG als rechten gestaltet. Es ist dann $\sphericalangle CAD = \sphericalangle \alpha = \sphericalangle CDG$ und da nun die $\text{tg}\,\alpha = J$ die Stromstärke ausdrückt, wird der Abschnitt $CG = CD\,\text{tg}\,\alpha = E \times J$ die Arbeit darstellen.

Die von einer Elektricitätsquelle geleistete Arbeit äußert sich nach außen nun nicht nur in der Erwärmung des Schließungsleiters, sondern auch in der, in den Apparaten geleisteten äußeren oder Nutzarbeit (Licht, mechanische Arbeit). Wäre keine äußere Nutzarbeit vorhanden, so würde die ganze Stromarbeit nur zur Erwärmung des inneren und des passiven äußeren Leitungswiderstandes verwendet werden. Um nun den in den Stromerzeugern selbst nutzlos in Wärme eingesetzten Arbeitsantheil ($J^2 w$) möglichst zu verringern, strebt man an, den Stromerzeugern einen möglichst geringen, inneren Widerstand zu geben. Allerdings erfordert dies wieder einen größeren Materialaufwand und damit eine Erhöhung der Kosten.

Aus der Definition für die elektrische Arbeit $A = EJ$ folgt weiters, dass die Arbeitsmenge A bei einer verschiedenen Größe von E und J erreicht werden kann. Man kann nämlich entweder E sehr groß wählen (z. B. bei Anlagen mit hoch gespanntem Strome), wodurch dann J klein wird, oder man kann E klein wählen (beim niedergespannten Strom), wodurch J groß wird. Dies hat z. B. bei der Übertragung einer bestimmten elektrischen Energiemenge einen wesentlichen Einfluss, weil die Stromstärke den Leitungsquerschnitt und damit die Leitungskosten wesentlich tangiert.

3. Mittel und Methoden zum Messen der elektrischen Arbeit.

Zum Messen einer elektrischen Arbeit können Apparate verschiedener Construction verwendet werden, welche gestatten:

1. direct die Energie in Watt zu messen. Diese Apparate heißen Wattmeter. Sie beruhen auf den Wechselwirkungen von Strömen und magnetischen Feldern, welche Wirkungen sodann in einem beweglichen Systeme, ähnlich wie beim Elektrodynamometer zur Wirkung kommend, unter Zuhilfenahme von Gegenkräften (Schwere, Torsionsfeder etc.) in ähnlicher Weise gemessen werden, wie dies beim Elektrodynamometer und Torsionsgalvanometer beschrieben worden ist.

Fig. 89.

Als Beispiele von Wattmetern sind anzuführen: jenes von Siemens & Halske und das ihm ähnliche von Bláthy. Ersteres ist ein Elektrodynamometer mit getrennten stromführenden Spulen, dessen feste Wicklung S (Fig. 89) von hohem Widerstande an die Klemmen jenes Apparates w gelegt wird, von welchem der Arbeitsverbrauch bestimmt werden soll, während der zu messende Strom selbst durch die bewegliche Rolle s geführt wird. Der Torsionswinkel des Drehknopfes ist proportional dem Producte ie.

Man aicht das Instrument mit einem guten Strom- und Spannungsmesser. Das Wattmeter von Bláthy wird später beschrieben werden.

2. Indirect kann man die elektrische Arbeit bestimmen, indem man die Stromstärke mit Hilfe eines Ampèremeters, sodann die Spannung durch

ein Voltmeter ermittelt, und durch Multiplication beider Größen den Arbeitsaufwand rechnet ($A = e\,i$ Volt-Ampère).

Fig. 90.

Bei Anwendung von Anlagen mit constanter Spannung (Glühlichtanlagen) kann man die innerhalb einer Zeit gelieferte Elektricitätsmenge als proportionalen Ausdruck für die verbrauchte Energie benützen. Man nennt die ähnlich den Wattzählern gebauten, die Elektricitätsmengen in Stunden anzeigenden Apparate Ampère- (oder Coulomb-) Stundenzähler (kurz Elektricitätszähler). Solcher Apparate gibt es ebenfalls verschiedene.

Der Ampèrestundenzähler, Typ Aron, besteht (Fig. 90) aus einer Pendeluhr u_1, deren Pendellinse a durch einen Stahlmagnet ersetzt ist; letzterer wird durch eine Stromspule f beschleunigend beeinflusst. Aus dieser Beeinflussung gegenüber einer Normaluhr u_2 mit gleicher Schwingungsdauer kann die Quantität ermittelt werden, die durch den Zähler geflossen ist. z ist das Registrierwerk. Nach demselben Principe hat Dr. Aron auch Wattstundenzähler construiert.

IV. Die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes.

1. Grundbegriffe.

Oerstedt machte 1820 die Entdeckung, dass der elektrische Strom auf eine Magnetnadel ablenkend einwirken kann. Ein über die Magnetnadel NS (Fig. 91, 93) im geradlinigen Leiter AB hingeleiteter Strom lenkt die Nadel nach einer bestimmten Richtung ($N^1 S^1$ Fig. 91) ab.

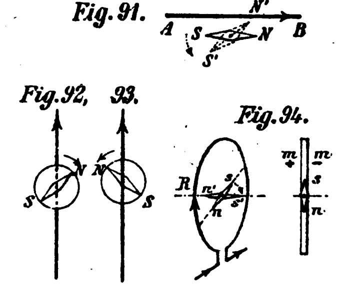


Fig. 91. Fig. 92, 93. Fig. 94.

Führt man den Strom unter der Nadel (Fig. 92), oder wechselt man die Stromrichtung, so wird die Nadel NS nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt. Die Gesetzmäßigkeit dieser Ablenkung hat nun Ampère durch folgende Regel festgestellt:

„Denkt man sich mit dem Strome schwimmend, eine menschliche Figur, welche ihr Gesicht dem Magnete zuwendet, so erfolgt die Ablenkung des Nordpols durch den Strom stets zur linken Hand."

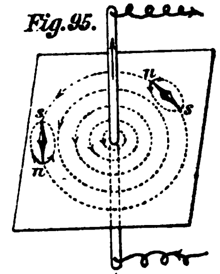
Diese Regel bietet umgekehrt auch das Mittel, um mit Hilfe einer Magnetnadel die Richtung des Stromes in einem Leiter zu ermitteln.

Nimmt man statt eines geradlinigen Leiters einen kreisförmigen R (Fig. 94), und stellt in dessen Mittelpunkt eine kleine Magnetnadel $n\,s$, so wird diese sich senkrecht auf die Ebene des Kreisstromes R zu stellen bestreben. Dieselbe Wirkung wird der Kreisstrom ausüben, wenn die Magnetnadel $n\,s$ vom Leiter entfernt, in der Axe des Kreisstromes sich befindet. Ein vollkommenes Senkrechtstellen der Magnetnadel zur Kreisfläche wird aber nicht eintreten können, da nebst dem elektrischen Strome noch der Erdmagnetismus ablenkend auf die kleine Nadel einwirkt. Die Größe der Ablenkung der Nadel wird in allen Fällen von der angewendeten Stromstärke abhängen.

Durch Anwendung mehrerer Drahtwindungen (Multiplicatorgewinde) kann man diese ablenkende Stromwirkung verstärken. Hierauf basieren die zum Nachweis der Stromcontinuität vielfach verwendeten Galvanoscope, welche in der Regel aus einem Multiplicatorgewinde und einer innerhalb desselben befindlichen, einfachen oder doppelten (astatischen) Magnetnadel bestehen. Die gebräuchlichen Galvanoscope liegender Anordnung heißt man Boussolen, jene in stehender Form Verticalgalvanoscope.

Aus den vorbesprochenen Einwirkungen des elektrischen Stromes auf eine Magnetnadel, welche den durch einen Magnetpol auf die Nadel hervorgerufenen Bewegungserscheinungen analog sind, hat man daher geschlossen, dass der elektrische Strom magnetische Eigenschaften besitze.

Fig. 95.



Dies, als eine auch durch die Experimente erwiesene Thatsache hingestellt, müssen alle beim Magnete gemachten Erörterungen auch auf den elektrischen Strom sich anwenden lassen, wie dies übrigens die folgenden Erscheinungen beweisen.

Nimmt man nämlich einen geraden Kupferdraht, durch welchen ein elektrischer Strom fließt, und taucht ihn in feine Eisenfeilspäne, so zieht er diese an; er magnetisiert sie. Der durch eine Cartonscheibe gesteckte Kupferdraht in der Fig. 95 zeigt, dass die aufgesiebten Eisenfeile sich in concentrischen Ringen um den Draht ordnen. Ebenso lässt sich zeigen, dass eine leichte Magnetnadel *n s*, um den Draht im Kreise geführt, stets denselben Richtungssinn beibehält und dieser sich erst mit dem Wechsel der Stromrichtung ändert. Nach der Analogie mit dem Magnete stellen sonach die Verbindungslinien der einzelnen Eisenfeilspäne wieder Kraftlinien dar, die sich in concentrischen Kreisen um den Leiter als Mittelpunkt anordnen. Ähnliches wie vor, lässt sich auch beim kreisförmigen Leiter in der Fig. 96 zeigen, bei welchem die durch Eisenfeile dargestellten Kraftlinien in dem durch die Figur dargestellten Sinne gerichtet sind.

Fig. 96.

Der elektrische Strom besitzt sonach ebenfalls einen Wirkungsraum auf magnetische Massen — das „magnetische Feld des Stromes“ genannt, das durch die Richtung und Zahl der das Feld definierenden Kraftlinien bestimmt wird [1]. Da, wie die Figuren 95, 96 zeigen, der Verlauf der Kraftlinien beim magnetischen Felde des Stromes anders gestaltet ist, wie jener beim einfachen

---

[1]) Das Seite 18 definierte elektrische Feld kann ebenfalls durch „elektrische Kraftlinien“, analog dem magnetischen Felde, dargestellt werden, und es lassen sich sodann dieselben Erscheinungen, wie beim Magnete angeführt, auch beim elektrischen Felde erklären.

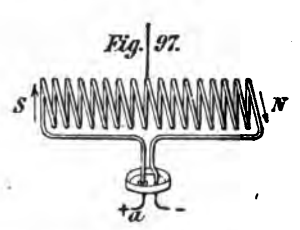
Fig. 98.

Wenn z. B. ein isolierter Conductor *B* (Fig. 98) der + elektrischen Kugel *A* gegenübersteht, so gehen die Kraftlinien in den Conductor *B* über und erzeugen in demselben + und — Elektricität, u. zw. nach dem Vertheilungsgesetze und nach der Richtung. Nach ersterem muss in *B* beim Eintritte der Kraftlinien —, beim Austritte + Elektricität sitzen. (Jede Kraftlinie, welche von einem + Körper ausgeht, muss an einem — Körper enden.)

Stabmagnet, so wird zur Festlegung eines bestimmten Richtungssinnes als **positive Richtung** der Kraftlinie jene bezeichnet, nach welcher der Nordpol einer in die Nähe des Stromleiters gebrachten Magnetnadel zeigen würde. (Fig. 95.) Infolge der erörterten, magnetischen Erscheinung des kreisförmigen Stromleiters (Fig. 96) kann man nun denselben auch als einen flachgedrückten Magneten, als eine **magnetische Scheibe** mit beiderseits entgegengesetzten Magnetismen $+m$, $-m$ (Fig. 94) ansehen, bezw. man kann den Stromleiter durch einen solchen ersetzt denken. Aus letzterer Annahme wird sodann auch klar, warum zwei von elektrischen Strömen durchflossene Leiter auf einander eine Wirkung ausüben müssen.

2. Das Solenoid. Magnetisches Feld desselben.

Verbindet man mehrere kreisförmige Leiter miteinander, oder bildet man eine zusammenhängende Spirale („Solenoid“, auch Stromspule genannt), so lässt sich diese als eine Reihe von Scheibenmagneten ansehen, welche in ihrer Gesammtheit sich wie ein Stabmagnet verhalten. Dies findet auch in der That statt, wenn man die Erscheinungen betrachtet, welche bei solchen Stromspulen auftreten können.

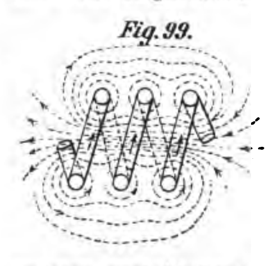


Hängt man nach Fig. 97 eine von einem Strome durchflossene Kupferdrahtspirale SN beweglich auf, so wird sich die Spule wie ein Magnet in die Richtung Nord-Süd einstellen. Dreht man die Stromrichtung in der Spule um, so wendet sich auch das nordseitige Ende nach Süden und das südseitige nach Norden.

Nähert man weiters einem solchen aufgehängten Solenoid einen Pol eines Magnetstabes, so wird das eine Ende des Solenoids vom Magnetpol angezogen, das andere abgestoßen.

Analog verhalten sich auch zwei aufgehängte Solenoide zu einander. Nähert man einen Stab aus weichem Eisen einer Solenoidöffnung, so wird er soweit hineingezogen, dass die Stabmitte mit der Solenoidmitte zusammenfällt.

Da nun ein Solenoid, wie ein Magnetstab wirkt, folgt ferner, dass es auch ein magnetisches Feld besitzen muss, dessen Kraftlinien sich aus jenen der einzelnen Stromelemente zusammensetzen werden.



Thatsächlich bekommt man bei der experimentellen Darstellung des Feldes durch Eisenfeilspäne, die in Fig. 99 angedeuteten, wellenförmigen Curven, welche den ganz gleichen Verlauf, wie beim geraden Stabmagnete zeigen.

Nach der Fig. 99 wird eine Anzahl von Kraftlinien die Höhlung der Spirale durchsetzen und im äußeren Raume von einem Ende des Solenoids zum anderen zurückkehren. Die Enden der Spirale stellen sonach wirkliche „Pole“ dar, deren Polarität mit Hilfe der auf Seite 68 genannten Regel ermittelt werden kann.

Das magnetische Feld innerhalb des Solenoids ist aber nicht gleich stark; am Rande ist es stärker als in der Mitte. Je länger aber ein Solenoid ist, umso gleichförmiger, homogener, wird das Feld innerhalb der Windungen erscheinen. Das magnetische Feld

a) eines unendlich langen, geraden Solenoids lässt sich (nach Kapp) leicht aus der Windungszahl und aus der Stromintensität berechnen.

Denkt man sich nämlich jede Windung R (Fig. 94) durch eine magnetische Scheibe von der Fläche F und Dicke δ, mit beiderseits entgegengesetzten Magnetismus $(+m, -m)$ ersetzt, so ist das magnetische Moment einer Windung: $M = F.J = m\,\delta.$

Von einer magnetischen Masse m (siehe Seite 9) gehen aber $4\pi m$ Kraftlinien aus, folglich ist die Gesammtzahl der vom Solenoid erzeugten Kraftlinien

$$Z = 4\pi m = 4\pi F.\frac{J}{\delta}.$$

Nun ist $\frac{Z}{F} = 4\pi\frac{J}{\delta}$ gleich der Zahl Kraftlinien pro cm^2 Fläche, oder gleich der Intensität des Feldes H.

Nimmt man daher pro $1\,cm$ Länge der Drahtspirale n Windungen an, so wird $n\,\delta = 1$ und $n = \frac{1}{\delta}$ sein. Es wird sonach H, durch $H = 4\pi n J$ Kraftlinien pro cm^2 der Querschnittsfläche bestimmt sein.

Die Größe H nennt man auch die „magnetisierende Kraft der Spule" und bezeichnet das Product $n.J$ als die Zahl der zur Magnetisierung verwendeten „Ampèrewindungen".

b) Bei einem ringförmigen Solenoid von kleinem Durchmesser kann man ebenfalls die Feldstärke innerhalb des z. B. auf einem Holzringe R (Fig. 100) aufgewickelten Solenoides als constant annehmen. Ist L die mittlere Länge des Holzringes und N die Windungszahl, so ist $\frac{N}{L} = n$ die Anzahl der Windung pro Längeneinheit.

Fig. 100.

R

Die Feldstärke ist dann $H = 4\pi n.J$ pro cm^2, oder $H = 4\pi\frac{N}{L}J$. Ist q der Querschnitt des Solenoids, so ist die Gesammtzahl der Kraftlinien $Z = qH = q.4\pi\frac{N}{L}J = \frac{NJ}{\frac{1}{4\pi}\frac{L}{q}}$. Drückt man L und q in absoluten Einheiten, J in Ampère aus, so wird $Z = \frac{N.J_a}{\frac{10}{4\pi}.\frac{L}{q}}$.

3. Elektromagnete.

Das Verhalten der Stromspulen gibt nun das Mittel an die Hand, sehr starke Magnetisierungen von Eisentheilen hervorbringen zu können.

Schiebt man nämlich in das Innere einer von einem elektrischen Strome durchflossenen Spule R (Fig. 101) einen Eisenkern NS, so wird dieser durch „Vertheilung" magnetisch gemacht.

Es gehen nämlich die Kraftlinien der Spule *S*, analog wie in Fig. 10 auf Seite 6 gezeigt, in gleicher Richtung durch den Eisenkern hindurch. Man nennt ein solches System einen „Elektromagnet“ und den durch den elektrischen Strom im Kerne erzeugten Magnetismus, den Elektromagnetismus.

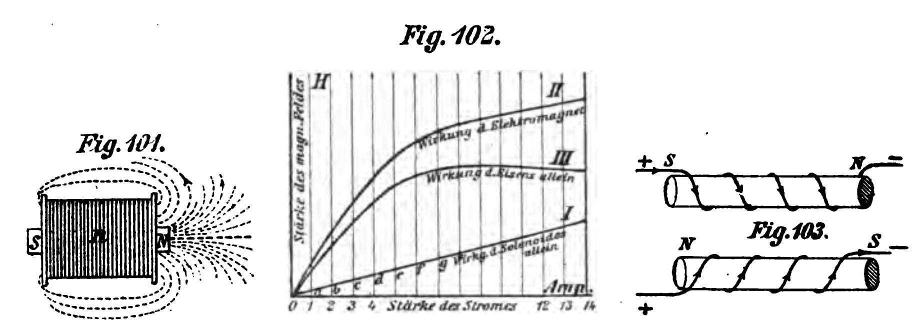


Fig. 101. Fig. 102. Fig. 103.

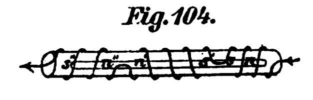
Mit solchen Elektromagneten hat man es nun gegenwärtig in der Elektrotechnik fast ausschließlich zu thun, u. zw. deswegen, weil die Elektromagnete die permanenten Stahlmagnete an Intensität oder Stärke ihrer Pole weit zu übertreffen vermögen. Durch das Einschieben von weichem Eisen in eine Stromspule wird die magnetische Kraft der letzteren um das 300 bis 1.000-fache erhöht, indem zu den Kraftlinien der Stromspule noch jene des magnetisch gewordenen Eisenkernes hinzutreten, sich also vervielfachen. Die Fig. 102 zeigt durch die Kurven I, II, III bildlich, in welcher Weise diese Erhöhung des Magnetismus stattfindet.

Der durch den Strom hervorgerufene Magnetismus wird beim Elektromagneten aber nur solange vorhanden sein, als der Strom in der Spule fließt. Ist letzterer unterbrochen, so hört auch der Magnetismus auf, obschon meist ein geringer Theil desselben im Kerne noch zurückbleiben wird.

Nach vorstehender Darlegung besteht sonach ein Elektromagnet im wesentlichen aus: *a*) einem Eisenkern und *b*) einer Strom- (oder Magnetisierungs-) Spirale, über deren Formen noch Einiges hier speciell bemerkt werden soll.

a) Die Magnetisierungspiralen (auch Magnetspulen, Magnetbewicklung genannt) bestehen aus einer Reihe von gegeneinander isolierten Lagen kreisförmig gewundenen Kupfer-, oder Neusilberdrahtes, welche auf dünnwandigen Spulen aus Holz, Pappe, Zink u. s. w., oder directe auf dem Eisenkern aufgebracht werden. Je nach dem Windungssinne (ob im Sinne des Zeigers einer Uhr oder im entgegengesetzten) unterscheidet man rechts- oder links gewundene Spiralen (Fig. 103), bei welchen die Bestimmung der Pole nach der Regel Seite 68 erfolgen kann. Werden die Spiralen wie in Fig. 104 gewunden, so tritt an dem Punkte des Windungswechsels nur ein Pol, — ein Folgepol *n′n″* und *s s*¹ auf. Fig. 104 stellt sonach einen vierpoligen Elektromagnet dar.

Fig. 104.



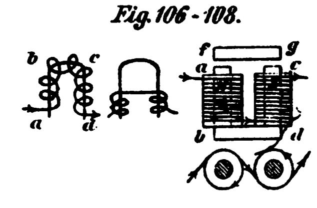
b) Die Eisenkerne der Elektromagnete können nach dem Materiale, Querschnitt und nach der Form verschieden sein, sie können entweder aus einem oder aus mehreren Stücken zusammengesetzt sein. Ihre Form bestimmt zugleich die Gesammtform des Elektromagneten, bezw. die Anordnung der Wicklungen.

Als Repräsentanten von Elektromagneten sind in der Fig. 105 Formen von geraden Elektromagneten mit unterschiedlicher Bewicklung (an den Enden, in der Mitte, oder mit einer vollständigen Magnetbewicklung) gegeben. In den Figuren 106 bis 108 ist die am häufigsten gebrauchte Hufeisenform dargestellt, von welcher es je nach ihrer constructiven Ausbildung (siehe die später folgenden Capitel) eine Menge von Variationen gibt. Bei der, in der Fig. 108 dargestellten einfachsten Form lässt sich eine gewisse Untertheilung der Theile unterscheiden.

Fig. 105.

Die Theile ab, cd nennt man die Elektromagnetschenkel, welche mit einander durch bd verbunden, entweder aus einem Stücke hergestellt werden können, oder es können beide Schenkel ab, cd für sich erzeugt und durch eine Platte (Joch, Rückenplatte bd genannt) mit einander verbunden werden. Die Anordnung der Magnetbewicklung kann, wie dies die Figuren 106 bis 108 zeigen, ebenfalls eine verschiedene sein. Ein die beiden Pole schließendes Eisenstück fg heißt man den Anker oder die Armatur des Magneten.

Fig. 106 - 108.



Meist werden die Schenkel an den Polenden in eigenthümlicher, ihrer Verwendungsform entsprechender Weise ausgestaltet (verstärkt oder abgenommen), und oft mit Armaturen (Polschuhen) versehen.

4. Das magnetische Feld beim Elektromagneten. Magnetisierung.

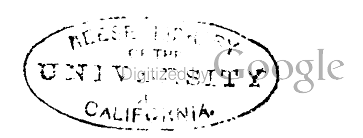
Nachdem der elektrische Strom imstande ist, Eisenkerne zu magnetisieren, also ein magnetisches Feld zu erzeugen, soll zum Schlusse des Capitels noch erörtert werden, in welcher Weise und von welchen Umständen diese Magnetisierung beeinflusst wird.

Die Magnetisierung beim Elektromagneten hängt von mehreren Factoren ab, u. zw.:

1. von der Intensität des zur Magnetisierungsarbeit verwendeten Stromes und von der Windungszahl der Stromspule. Es ist klar, dass je stärker der Strom ist, umso kräftigere, magnetische Wirkungen derselbe erzeugen wird. Ebenso wird, je mehr hintereinander geschaltete Wicklungen bei der Stromspule verwendet werden, umso größer die Magnetisierung oder die Stärke der Pole sein. Beide bestimmen die Intensität H des magnetischen Feldes der Magnetisierungsspule.

Man hat nun versucht, die Abhängigkeit der Magnetisierbarkeit verschiedener Eisensorten von der magnetisierenden Kraft der Spule theoretisch zu bestimmen.

Indess haben alle vorgenommenen Versuche gezeigt, dass die Gesammtfeldstärke B (oder die Zahl der Kraftlinien pro cm^2 des Eisenkernquerschnittes), welche man auch als „magnetische Induction“ (Vertheilung) bezeichnet, nicht proportional der Feldstärke der Spule ist, sondern, dass die Magnetisierung je nach den magnetischen Eigenschaften der Eisensorten eine verschiedene ist, ferner dass die Intensität der Magnetisierungsspule durch die magnetische



Rückwirkung des Eisenkernes auf das Feld, dann durch die Leitungsfähigkeit der Eisenkerne beeinflusst wird.

Die von vielfachen Experimentatoren aufgestellten Formeln haben für die Praxis nur eine beschränkte Giltigkeit.

Häufig wird in neuerer Zeit, insbesondere bei Berechnung von Dynamomaschinen, die Kapp'sche Formel verwendet, welche lautet:

$$H = C n J \frac{\operatorname{tg} \frac{\sigma}{2}}{\frac{\pi}{2} \sigma}, \text{ worin}$$

C eine Constante, $n J$ Ampèrewindungen und σ der „Sättigungsgrad des Eisenkernes" bedeutet. Unter letzterem wird das Verhältnis der von einem Eisenkern wirklich aufgenommenen Kraftlinien N zur Zahl N_1 jener Kraftlinien verstanden, welche das Eisen im Sättigungszustande (also maximal) aufzunehmen imstande ist:

$$\sigma = \frac{N}{N_1}.$$

Die Gesammtfeldstärke, welche beim Elektromagneten einerseits durch die magnetisierende Spirale, anderseits durch die Erregung von Magnetismus im Eisenkern erzeugt wird, stellt sich bei einem geraden Solenoid mit einem Eisenkerne, wie die Fig. 102 zeigt, aus zwei Theilen zusammen, u. zw. aus H, d. i. der Feldstärke der magnetisierenden Spirale (Curve I), und einem vom Eisenkern abhängigen Theil (Curve II). Nimmt man an, dass durch den Eisenkern des Elektromagneten m magnetische Masseneinheiten zu jenen der magnetisierenden Spule oder des Solenoids hinzukommen, so gehen vom Eisenkern $4 \pi m$ Kraftlinien aus. Auf die Einheit der Querschnittsfläche q des Eisenkernes entfallen sonach $\frac{4 \pi m}{q}$ Kraftlinien. Es wird mithin $B = H + \frac{4 \pi m}{q}$ sein.

Ist l die Länge des Eisenkernes, so ist $B = H + \frac{4 \pi m l}{q l}$.

Nun ist aber $m l = M$ das magnetische Moment, $q l = V$ das Volumen des Eisenkernes, folglich ist $B = H + \frac{4 \pi M}{V}$.

Man bezeichnet $\frac{M}{V} = J$ als magnetisches Moment pro Volumeinheit, oder als die „Intensität der Magnetisierung". Daher man schreiben kann:

$$B = H + 4 \pi J.$$

Den Ausdruck $\frac{J}{H} = k$ bezeichnet man als „Magnetisierungscoëfficient" oder als „Susceptibilität (magnetische Aufnahmsfähigkeit). Es wird dann

$$B = H + 4 \pi k \,.\, H = H (1 + 4 \pi k).$$

Der Quotient $\frac{B}{H} = \mu$ ist die „magnetische Permeabilität" (Leitungsfähigkeit), während $\frac{1}{\mu}$ als „specifischer magnetischer Widerstand" bezeichnet wird. Die Gesammtfeldstärke ist sonach $B = \mu . H$.

Die Gesammtzahl der Kraftlinien für die Fläche q des Eisenkernes wird $B\,q = q\,(H + 4\pi J)$ sein.

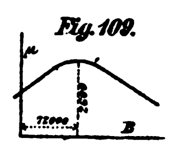
Bei reinen, weichen Eisensorten erhält man als Maximum der Kraftlinien $B = 20.000$ Kraftlinien pro cm^2.

Durch die Einführung dieser neuen Größen ist es Ewing und Hopkinson auf Grund von Experimental-Untersuchungen gelungen, die Magnetisierung von Eisensorten annähernd zahlenmäßig zu bestimmen.

Diese beiden Experimentatoren fanden z. B. für gute Eisensorten, Schmiedeeisen, Gusstahl, Stahlblech etc.

für $H =$	10,	20,	30,	40
ein $B =$	10—13.000,	12—15.000,	13—16.000,	13—17.000,
für Gusseisen $B =$	5.000,	6— 7.000,	6— 8.000,	7— 8.000.

Sie fanden, dass mit der Zunahme der magnetisierenden Kraft H die magnetische Permeabilität μ zuerst wächst, ein Maximum erreicht und dann wieder abnimmt.


Fig. 109.

Graphisch kann man sich dies versinnlichen, wenn man im Diagramme Fig. 109 auf der Horizontalen die Größe B, auf der Verticalen μ aufträgt. Man bekommt die sogenannte „Permeabilitätscurve".

Man wählt für die in der Praxis verwendeten Apparate meist eine Sättigung $B = 7.000$ bis höchstens 12.000 Kraftlinien pro cm^2.

Der Ausdruck $\frac{1}{\mu} = 0{\cdot}0004$ hat fast immer denselben Wert.

Ein vollständiges Bild über die Magnetisierung von Eisenkernen durch die Wirkung von Stromspulen geben nur graphische Darstellungen, wie eine solche z. B. die Fig. 110 zeigt. Diese Figur stellt eine sogenannte „Magnetisierungscurve" dar, die man auf Grund der vorerwähnten Experimental-Untersuchungen von Ewing und Hopkinson dadurch erhält, dass man die bei der Magnetisierung verwendeten, der Spule entsprechenden magnetisierenden Kräfte H (oder die Zahl der Kraftlinien pro cm^2 der Spule) auf der Horizontalen, die bei der Magnetisierung erlangte Gesammtkraftlinienzahl des Elektromagneten, — also den Wert der Induction B — auf der Verticalen aufträgt. Man erhält hiernach den bildlichen Zusammenhang zwischen der aufzuwendenden Kraft und dem bei der Magnetisierung erlangten Resultate.

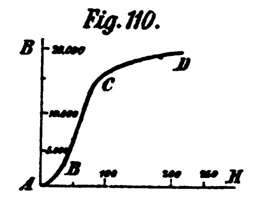


Fig. 110.

Aus der Fig. 110 ersieht man, dass die Form der Curve $ABCD$ einen verschiedenen Verlauf zeigt, u. zw. je nachdem die Magnetisierung H eine schwache, mittlere oder starke ist. Bei schwacher Magnetisierung (Theil AB) wächst die magnetische Vertheilung B rascher als die magnetisierende Kraft, bei mittlerer (Theil BC) herrscht Proportionalität, bei starker Magnetisierung (Theil CD) nimmt die Induction B langsamer zu als die magnetisierende Kraft, und es gibt eine Grenze, wo der Stab bis zur Sättigung magnetisiert ist, wo also der Wert $J = H \,.\, k$ oder die Intensität der Magnetisierung ein Maximum wird. (J erreicht z. B. für Schmiedeeisen bei ungefähr $H = 1.700$, für Gusseisen bei $H = 1.200$ den Maximalwert.)

Auf die Erreichung der Sättigung hat nebstbei noch der Querschnitt der Kerne einen Einfluss, u. zw. weil dünne, massive Magnete rascher die Grenze der Magnetisierung erreichen als dicke Kerne. Auch Eisenbündel (bestehend aus dünnen Stäben) magnetisieren sich rascher als massive Kerne, während z. B. Eisenrohre wieder eine variable Magnetisierung mit wachsenden Kräften zeigen.

2. Beeinflussend auf die Magnetisierung sind ferner die Dimensionen der Kerne (das Verhältnis der Länge zur Querschnittsfläche), dann die Form derselben, ebenso die Form der Polschuhe.

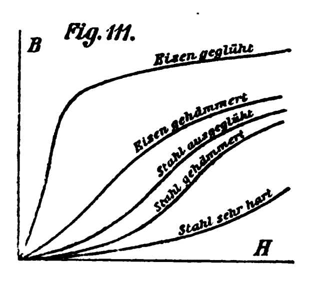
Auch hier haben die von manchen Autoren abgeleiteten, theoretischen Formeln nur ganz beschränkte Giltigkeit und geben die graphische Darstellungen der Magnetisierungscurven die besten vergleichsfähigen Aufschlüsse. In Bezug auf den Einfluss der Form sei erwähnt, dass nach der Erfahrung ein Hufeisenmagnet sich stärker als ein gerader Stabmagnet, und ein kreisförmiger sich noch leichter als ein hufeisenförmiger Magnet magnetisieren lässt.

Dort, wo es nothwendig ist, die Kerne möglichst rasch zu magnetisieren und zu entmagnetisieren (wie dies z. B. bei Telegraphen-Apparaten, Telephonen gefordert wird), muss man kurze und möglichst kräftige Kerne aus weichstem Eisen nehmen.

Bei Elektromagneten, bei welchen den Ankern eine schnellgehende Bewegung ertheilt werden soll, wie dies z. B. bei telegraphischen Anwendungen und bei Signalapparaten vorkommt, und wo die magnetisierenden Ströme schwach sind, magnetisiert man den weichen Eisenkern auch noch durch die Berührung mit einem permanenten Magnete (polarisierte Elektromagnete). Die Ströme, welche die Spule durchfließen, haben dann nur die Magnetisierung des Kernes zu vermehren oder zu vermindern. Derartige polarisierte Magnete folgen mit ihren Ankern schneller den Anregungen des Stromes als die gewöhnlichen Elektromagnete.

Soll die Magnetisierung eines Eisenkernes nur von kurzer Dauer sein, so ersetzt man oft massive Kerne durch hohle (z. B. bei den Telephonen).

4. Die physikalischen Eigenschaften des Materials der Kerne (ob Schmiedeeisen, Gusseisen, Stahl), dann die Bearbeitung, Textur, Temperatur u. dgl. m. sind ebenfalls von wesentlichem Einfluss auf die Magnetisierung der Kerne. Diesen Einfluss zeigt für verschiedene Eisen- und Stahlsorten z. B. die Fig. 111, in welcher auf der Horizontalen die Größe H, auf der Verticalen jene von B aufgetragen erscheint. Man sieht aus der Figur die große Überlegenheit des Schmiedeeisens gegenüber Stahl, u. zw. in Bezug auf die leichte Magnetisierbarkeit.



5. Wenn man einen Eisenkern in der Weise magnetisiert, dass man die magnetisierende Kraft einmal von Null bis zum Maximum (Sättigung) anwachsen lässt, sie sodann auf Null zurückführt (also stark magnetisiert und nachher entmagnetisiert), nunmehr die Richtung (Pol-Lage) wechselt, wieder zum Maximum schreitet, um sie auf Null herabsinken zu lassen u. s. f., so bekommt man bei dem cyklischen Wechsel einen Kreisprocess. Die bild-

liche Darstellung desselben liefert zwei Magnetisierungscurven, *C D*, *E D* (Fig. 112), welche sich nicht decken und zeigen, dass die hervorgerufene Vertheilung des Magnetismus beständig hinter jenem Wert *B* zurückbleibt, welcher für die einfache Magnetisierung erreicht wird. Es muss bei diesem Vorgange eine Coërcitivkraft[1]) *EO* (Verzögerungskraft) auftreten, welche den auftretenden remanenten Magnetismus zu vernichten strebt, und damit eine Verzögerung[2]) in der Magnetisierung hervorruft, die man „Hysteresis" nennt.

Fig. 112.

Letztere bedeutet eine Magnetisierungsarbeit, die in der Form von Wärme sich kundgibt, also als Verlust auftritt. Dieselbe hat insbesondere bei den Wechselstromapparaten einen gewissen Wert[3]).

5. Der magnetische Stromkreis.

In der gegenwärtigen elektrotechnischen Praxis wurde versucht, die magnetischen Vorgänge gesetzmäßig, u. zw. analog den elektrischen Stromkreisen zu betrachten und es wurde aus der Ähnlichkeit der magnetischen Kraftlinien mit den Strömungslinien der Elektricität ein „magnetischer Stromkreis" supponiert.

Man kann dann in Analogie mit der Elektricität beim Kraftlinienstrome, wie er sich z. B. bei einem ringförmigen Solenoid im Innern desselben ergibt, die Zahl der Kraftlinien pro cm^2 Querschnittsfläche des Feldes als „magnetische Stromstärke", die Felddichte *H* als „Stromdichte" und die Ursache der Schaffung des magnetischen Feldes als „magnetomotorische Kraft" oder als jene Kraft bezeichnen, welche imstande ist, Kraftlinien durch die Luft und durch das Eisen zu treiben.

Der „magnetische Widerstand" entspricht dem elektrischen Widerstande. Derselbe unterscheidet sich jedoch wesentlich vom elektrischen, weil der „specifische magnetische Widerstand" des wichtigsten magnetischen Leiters, d. i. des Eisens, nicht constant ist.

---

1) Je größer die magnetische Vertheilung oder Induction *B* ist, desto kleiner ist die Coërcitivkraft.

2) Man braucht erst eine gewisse Zeit zur Magnetisierung und Entmagnetisierung.

3) Nach Ewing's Untersuchungen ist die durch die Hysteresis absorbierte Energie bei weichem Eisen am kleinsten (9.300 absolute Einheiten pro kg) und nimmt mit der Härte zu, z. B. für glasharten Stahl beträgt sie 76.000 absolute Einheiten. Man wird daher immer bestes Schmiedeeisen für die Erzeugung von Wechselstrom-Transformationen nehmen, um einer zu großen Erhitzung derselben vorzubeugen. Die Hysteresis begrenzt weiters, — wie die diesbezüglich durchgeführten Versuche gezeigt haben, — die Anzahl der Stromwechsel und die totale Induction, respective damit die im secundären Stromkreis entwickelte elektromotorische Kraft, da der Transformator sich zu stark erhitzt, sobald diese Größen eine gewisse Grenze überschreiten.

Infolge dessen beschränkt man in neuerer Zeit die Stromwechsel pro Secunde, ebenso auch die magnetische Induction, um das Verhältnis zwischen Erwärmung und Abkühlungsfläche in den richtigen Grenzen zu halten.

Nach Steinmetz wird bei *n* Polwechseln pro Secunde in 1 *k* Eisen eine Leistung von $\frac{n \cdot \eta \cdot B^{1\cdot 6}}{7\cdot 7 \cdot 10^4}$ Watt verbraucht, wobei der Coëfficient η zwischen 0·002 bis 0·025 schwankt; 7·7 bedeutet das specifische Gewicht des Eisens.

Geht man von der auf Seite 71 aufgestellten Kapp'schen Formel für das ringförmige Solenoid ohne Eisenkern, aus, welches Solenoid einen vollkommen geschlossenen, magnetischen Stromkreis darstellt, und bezeichnet den Zähler $N.\,J_a$ als magnetomotorische Kraft des Kraftlinienstromes (ausgedrückt in Ampèrewindungen), bezeichnet ferner $\frac{10}{4\pi} \cdot \frac{L}{q}$ den Widerstand des magnetischen Stromkreises, so ist Z die Stärke des magnetischen Kraftlinienstromes. Man bekommt damit für den magnetischen Stromkreis einen dem Ohm'schen Gesetze analogen Ausdruck.

Aus der Analogie mit dem Ohm'schen Widerstande $w = \frac{s\,L}{q}$ folgt weiters, dass $\frac{10}{4\pi} = 0{\cdot}8$ als der „specifische Widerstand" nicht magnetisierbarer Substanzen (Luft, Holz etc.), $\frac{1}{w}$ als „magnetische Leitungsfähigkeit" (Capacität) bezeichnet werden kann.

Die Kapp'sche Formel lässt sich so dann auch schreiben: $Z = \frac{4\pi}{10} \frac{N.\,J_a}{1 \cdot \frac{l}{q}}$,

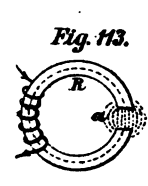
wenn $s = 1$ als specifischer Widerstand der nicht magnetisierbaren Substanzen angenommen ist.

Beispiel. Ist für ein gegebenes Solenoid $n = 10$ Windungen pro cm Länge, $J_a = 10$ Ampère (also gleich der absoluten Stromstärke), so ist $H = 4\pi n J = 4\pi . 10 . 1 = 126$ Kraftlinien pro cm^2 der Querschnittsfläche.

Ist $q = 100 cm^2$, so ist $Z = q\,H = 12.600$ Kraftlinien (Gesammtkraftlinien für den ganzen Windungsquerschnitt).

In derselben Weise, wie beim ringförmigen Solenoid ohne Eisenkern hat man beim ringförmigen Solenoid mit Eisenkern (Elektromagnet), u. zw. mit gleichmäßiger Bewicklung des ganzen Ringes, es ebenfalls wieder mit einem vollkommen geschlossenen, magnetischen Stromkreis zu thun, der nach außen keine Kraftlinien austreten lassen wird und dessen Gesammtfeldstärke $B = \mu\,H$ ist.

Fig. 113.



Anders gestaltet sich jedoch die Sache, wenn man nur einen Theil des Ringes R (Fig. 113) bewickelt. Man hat es in diesem Falle nur mehr mit einem „unvollkommen durch Eisenmassen geschlossenen, magnetischen Stromkreis" zu thun, bei welchen die Vertheilung der Kraftlinien eine andere wird, da aus dem unbewickelten Theile Kraftlinien in die Luft austreten werden.

Es werden im bewickelten Theile mehr Kraftlinien entfallen, wie im unbewickelten Theile. Die Erscheinung, dass Kraftlinien aus dem Eisenkern in die Luft austreten, heißt man nun die „magnetische Streuung".

Macht man im Ringe R (Fig. 113) einen Schlitz a, so werden die an einem Ende austretenden Kraftlinien durch die Luft zum anderen Ende gehen; man hat eine etwas geringere Kraftlinienzahl, aber dennoch wieder einen durch den Luftzwischenraum geschlossenen, magnetischen Kreis.

In diesem Falle rechnet sich die Kraftlinienzahl nach dem Bosanguet-schen Gesetze wie folgt:

Aus der Analogie mit dem Ohm'schen Gesetze kann man allgemein für den geschlossenen magnetischen Kreis setzen:

$$Z = \frac{\text{magnetomotorische Kraft}}{\text{Summe d. mag. Widerstände}} = \frac{M}{\rho_1 \frac{l_1}{q_1} + \rho_2 \frac{l_2}{q_2} \; \cdots},$$

wobei allgemein ρ der specifische Widerstand pro Länge ist, l in cm und q in cm^2 ausgedrückt wird.

Für Eisen wird, da für Luft $\rho = \frac{10}{4\pi} = 0{\cdot}8$ ist, $\rho_k = \frac{1}{\mu_k}\rho$ sein [1]).

Folglich ist $Z = \dfrac{N_1 J_a}{\frac{10}{4\pi}\left(\frac{1}{\mu_1}\frac{l_1}{q_1} + \cdots\right)} = B\,q.$

Beispiel. *a*) Angenommen, es sei ein Eisenring, dessen mittlere Länge $= 1{\cdot}2m$, dessen Querschnitt $1dm^2$ ist, vollständig mit Draht zu bewickeln, u. zw. soll eine solche Stromstärke angewendet werden, dass $B = 7.300$ wird.

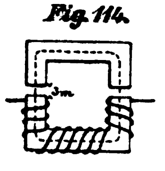
Hiebei seien auf ein Zehntel des Querschnittes zwischen den einzelnen Lagen des aus Schmiedeeisenblech erzeugten Ringes, Papier als Zwischenlage für die einzelnen Schichten genommen, sonach wird $q = 90\ cm^2$.

Da $Z = B\,q = \dfrac{\frac{4\pi}{10}.N.J_a}{\frac{1}{\mu}.\frac{l}{q}}$ ist, wird $N.J_a = B.q.\frac{1}{\mu}.\frac{l}{q}.\frac{10}{4\pi}$ sein.

Für $B = 7.300$ und ein entsprechendes $\mu = 2.250$ (aus der Tabelle von Ewing entnommen), wird $\frac{B}{\mu} = H = 3{\cdot}24$ werden. Es ist sonach

$$N.J_a = 3{\cdot}24\,.\,120\,.\frac{10}{4\pi} = 310 \text{ Ampèrewindungen.}$$

Für $J_a = 1\ A$, wird $N = 310$, oder für $J_a = 10\ A$ wird $N = 31$ Windungen. In beiden Fällen ist die Gesammt-Kraftlinienzahl $Z = 7.300 \times 90 = 65.700$ Kraftlinien.


Fig. 114.

b) Ist ein nicht vollständig bewickelter, und wie vor untertheilter Ring (Fig. 114) von der mittleren Länge $l = 100cm$, dem Querschnitt $q = 100cm^2$, bezw. (wenn man ein Zehntel der Querschnittsdimension q durch Papierzwischenlage untertheilt annimmt,) vom reinen Eisenquerschnitt $q^1 = 90cm^2$ gegeben, und soll für eine bestimmte Eisensorte $B = 10.000$, $\mu = 2.560$ sein, so ist $\frac{1}{\mu} = 0{\cdot}000391$, und der Widerstand des Eisens $w_1 = 0{\cdot}00039 \times \frac{2 \times 50}{90} = 0{\cdot}00043$;

[1]) ρ_k, μ_k soll die Bezeichnung sein, dass der Ableitung die Kapp'sche Formel zu Grunde gelegt worden ist. Für Luft $\rho = 1$ genommen (abweichende Annahme von Hopkinson, Erwein etc.) wird $\rho = \frac{1}{\mu}$ sein.

ferner ist der Widerstand des $3mm$-igen Zwischenraumes (Luft)

$$w_2 = 1 . \frac{2 \times 0{\cdot}3}{100} = 0{\cdot}006.$$

Es wird sonach:

$\Sigma w = w_1 + w_2 = 0{\cdot}00643$ und $Z = B . q^1 = 10.000 \times 90$.

Folglich werden zur obigen Magnetisierung:

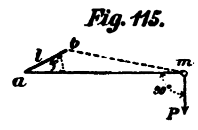
$$N . J_a = 900.000 \times 0{\cdot}0064 \times \frac{10}{4\pi} = 4.627 \text{ Ampèrewindungen nothwendig sein.}$$

Für die Praxis werden diese gefundenen Zahlen von Ampèrewindungen im allgemeinen zu klein ausfallen, daher man diese Zahlen mit Rücksicht auf die Streuung noch mit einem Erfahrungscoëfficienten multipliciert. Letzteren Coëfficienten wählt man z. B. zur Berechnung der Feldmagnete von Dynamomaschinen, je nach der Type mit 1·2 bis 1·5, für die Berechnung der Armaturen mit 1 bis 1·1.

6. Elektromagnetische Wechselwirkungen.

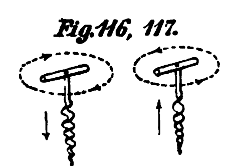
Gleichwie ein fixer Stromleiter auf einen beweglichen Magneten ablenkend wirkt, wird umgekehrt der fixe Magnet ablenkend auf eine bewegliche Stromspule einwirken. Letztere in ein magnetisches Feld gebracht, wird bestrebt sein, ihre Lage so zu ändern oder sich so zu drehen, dass die Kraftlinien sich verkürzen. Aus dieser Wechselwirkung lassen sich nun viele Erscheinungen, z. B. jene über die Rotationselektricität, über die Wirkung von Strömen auf Ströme u. s. w. ableiten. Bewegt man z. B. eine Drahtwindung (Ring R in Fig. 123, Seite 84) gegen einen Pol N, so wird je nach der Richtung des Stromes eine Anziehung oder Abstoßung erfolgen, und damit die Bewegung des Ringes gegen einen Magnetpol eine Unterstützung oder eine Hemmung erfahren. Ebenso werden infolge der elektrodynamischen Wechselwirkung parallele und gleichgerichtete Ströme sich anziehen, entgegengesetzt gerichtete sich abstoßen. Gegeneinander geneigte Ströme ziehen einander an, u. zw. wenn sie nach dem Kreuzungspunkte hin oder von ihm wegfließen.

Fig. 115.



Die Größe der Kraftwirkung, welche von einem Leiter auf einen Pol, oder umgekehrt ausgeübt wird, wird nach dem Biot-Savart'schen Gesetz bestimmt. Ist H die Intensität des Feldes, φ der Winkel, welchen der Leiter $a\,b$ (Fig. 115) mit der Verbindungslinie Magnetpol m, Stromelement $a\,b$ einschließt und ist i die in einem endlichen Leiter von der Länge l herrschende Stromstärke, so ist die wirkende Kraft P

Fig. 116, 117.



$$P = H . i . l . \sin \varphi.$$

Diese Kraft wirkt immer senkrecht zu den Kraftlinien und senkrecht zur Stromrichtung.

Die Richtung der wirkenden Kraft lässt sich leicht durch folgende einfache Regel bestimmen:

„Die Bewegungsrichtung eines Nordpols um einen geradlinigen unbegrenzten Strom ist jene eines Korkziehers (rechtsgängige Schraube Fig. 116,

117), welcher sich in der Richtung des Stromes fortbewegen würde." (Maxwell's Korkzieherregel.)

Darnach lässt sich auch leicht die Lage der Pole bestimmen, wenn die Magnetnadel sich normal zum Stromleiter zu stellen sucht.

7. Magnetische Messungen.

Im Anschluss an vorstehende theoretische Erörterungen über den Elektromagnetismus seien kurz noch jene praktischen Methoden erwähnt, mit welchen man magnetische Felder untersucht.

Die hierauf bezugnehmenden Messungen umfassen:

a) Die Untersuchung der magnetischen Eigenschaften von Eisensorten nach der sogenannten „magnetomotorischen" oder „ballistischen" Methode. Erstere ist basiert auf die Wirkung magnetischer Massen auf eine Magnetnadel, liefert also ein magnetisches Moment; letztere Methode benützt die elektromagnetische Induction, bezw. die Stärke des Inductionsstromes bei der Bewegung eines Stromleiters in einem magnetischen Felde und misst diese Stromstärke unter Zuhilfenahme eines ballistischen Galvanometers.

b) Die Untersuchungen in Bezug auf den Verlauf der Kraftlinien und der Intensität des magnetischen Feldes. Hiezu bedient man sich einer Eisenfeilschicht oder einer Magnetnadel, oder aber der Eigenschaft des Wismuthes, im magnetischen Felde seinen Widerstand zu vergrößern.

V. Die Inductionserscheinungen.

1. Grundbegriffe.

Außer den elektrodynamischen und elektromagnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes ist noch die Erregung von Strömen in Leitern, welche sich in der Nähe anderer Stromleiter oder von Magneten befinden, zu erörtern. Die Kenntnis der Induction verdanken wir Faraday, welcher fand, dass:

A. jede Schwankung in der Intensität eines elektrischen Stromes, also auch das Entstehen und Verschwinden desselben, oder die Ortsveränderung eines von einem constanten elektrischen Strome durchflossenen Leiters, in jedem benachbarten, geschlossenen Leitersysteme elektrische Ströme erzeugt und

B. jede Schwankung in dem magnetischen Momente eines Magneten, oder die Ortsveränderung eines constanten Magneten in der Nähe eines geschlossenen Leiters in diesem elektrische Ströme zu erzeugen vermag.

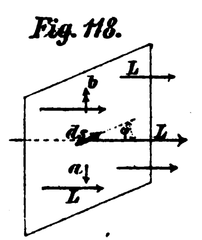
Die so erzeugten Ströme heißen „inducierte Ströme" und der Vorgang der Erzeugung die „Induction". Je nachdem die Induction durch elektrische Ströme oder durch Magnetismus bewirkt wird, unterscheidet man

a) magnetische oder Magnet-Induction,
b) elektrische oder Volta-Induction.

2. Grundgesetze der Magneto-Induction.

a) Bewegung von Leitern im magnetischen Felde. Setzt man zuerst begrenzte, endliche Leiter voraus und nimmt man an, dass ein von einem elektrischen Strome durchflossener beweglicher Leiter, z. B. das kleine Stromelement ds, in einem gleichförmig magnetischen Felde, dargestellt durch die Kraftlinien L, sich befinde, so wirkt auf den Leiter eine bewegende Kraft, welche denselben senkrecht zur Richtung der Kraftlinien und senkrecht zur Richtung des Stromes, — also wie in der Fig. 118 dargestellt, beispielsweise nach a, oder bei umgekehrter Richtung von ds, nach b bewegt.

Fig. 118.



Die Größe dieser bewegenden Kraft des Feldes auf das Stromelement wird durch das Biot-Savart'sche Gesetz bestimmt.

Wird nun der von einem Strome durchflossene Leiter durch äußere Kräfte in dem magnetischen Felde bewegt, so findet diese Bewegung in der elektromagnetischen Wirkung des Feldes entweder eine Unterstützung oder einen Widerstand. Bewegen wir z. B. ds nach aufwärts, so wird die zwischen dem festen Felde und dem Stromleiter wirkende Kraft unterstützt, da letztere den Stromleiter nach aufwärts zu bewegen sucht. Bei der Abwärtsbewegung von ds ist jedoch ein Widerstand zu überwinden. Um diesen Widerstand zu überwinden, muss jedoch Arbeit geleistet werden, und die der verbrauchten Energie entsprechende, äquivalente Arbeitsleistung zeigt sich in der Zunahme des den Leiter durchfließenden Stromes, geradeso, als ob plötzlich die elektromotorische Kraft erhöht worden wäre. Man nennt nun diese der mechanischen Bewegung entsprechende, in dem Stromleiter plötzlich auftretende Kraft, welche so lange erzeugt wird, als die Bewegung andauert, die „elektromotorische Kraft der Induction". Letztere wird negativ, wenn wir den Leiter nach aufwärts bewegen, in welchem Falle die elektromotorische Kraft der Induction in der, der Richtung des Stromes entgegengesetzten Richtung wirkt.

Induction entsteht jedoch auch im stromlosen Leiter, wenn dieser bei seiner Bewegung Kraftlinien schneidet.

Die Größe der elektromotorischen Kraft ist nun proportional der Intensität des Feldes H, der Geschwindigkeit der Bewegung v, der Länge des Leiters l und dem Sinus des Winkels φ, welchen der Leiter mit der Kraftlinie einschließt.

$$e = H v l \sin \varphi,$$

oder da $H l \sin \varphi$ die Anzahl der Kraftlinien ausdrückt, welche der Leiter während seiner Bewegung schneidet, so ist die elektromotorische Kraft auch proportional der Anzahl der Kraftlinien N, welche vom Leiter in der Zeiteinheit geschnitten werden[1]). e wird am größten, wenn $\sin \varphi = 1$, oder $\varphi = 90^{\circ}$, d. h. wenn die Kraftlinien senkrecht vom Leiter geschnitten werden. Werden keine Kraftlinien geschnitten, was der

---

[1]) Allgemein wird sonach $e = \frac{dN}{dt}$ sein, wenn dN die Änderung der Kraftlinien während der Zeit dt bedeutet.

Fall ist, wenn der Leiter parallel zu den Kraftlinien sich bewegen würde, so entsteht kein inducierter Strom oder keine elektromotorische Kraft.

Die Richtung der elektromotorischen Kraft wird durch das Lenz'sche Gesetz bestimmt, welches besagt: „wenn sich ein Leiter in einem magnetischen Felde bewegt, so wird in ihm eine elektromotorische Kraft von solcher Richtung induciert, dass die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen dem inducierten Leiter und dem Felde der wirklichen Bewegung Widerstand leistet".

Fig. 119.

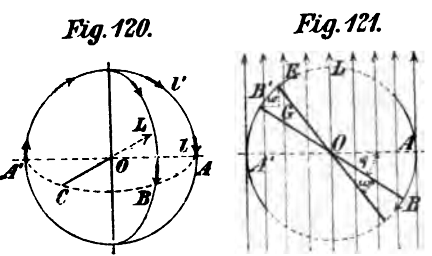
Faraday hat mit Rücksicht auf die Kraftlinien-Theorie folgende, durch nebenstehende Fig. 119 veranschaulichte Regel gegeben:

„Denkt man sich eine menschliche Figur im magnetischen Feld derart befindlich, dass die Kraftlinien beim Fuße ein- und durch den Kopf austreten, sieht man ferner nach der Richtung, in welcher der Leiter im magnetischen Felde bewegt wird, so ist die inducierte elektromotorische Kraft stets nach rechts gerichtet.

Die umgekehrte Regel wird entstehen, wenn die Kraftlinien sich gegen den festen Leiter bewegen.

Hat man geschlossene Leiter (Drahtspiralen, Vierecke), so kann man auch bei diesen Leitern einfache Regeln für die Größe und Richtung der elektromotorischen Kraft aufstellen.

α) Bewegung eines Drahtringes in einem magnetischen Felde. Nimmt man ein Element l (Fig. 120) des in der Papierebene befindlichen Ringes A, und verlaufen die Kraftlinien senkrecht zur Papierfläche, so wird bei der Drehung von l aus der Papierebene über B in die Stellung C (oder um 90°) eine elektromotorische Kraft induciert, die von A an immer mehr wächst, bis die größte elektromotorische Kraft in der letzteren Stellung C erzeugt wird, weil hier die Kraftlinien vom Elemente l senkrecht geschnitten werden.


Fig. 120. Fig. 121.

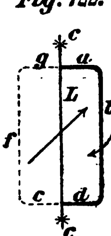
Der Stromverlauf ergibt sich nach der früheren Regel conform der Fig. 119. Ist der Drahtring parallel zu den Kraftlinien (180°), so ist die Induction Null; bei 270° erreicht die elektromotorische Kraft E wieder ein Maximum und ist bei 360° Null. Bei der Stellung 0° und 180° ergibt sich bei der Bestimmung der Stromrichtung ein Richtungswechsel von E. Für ein Element l', l'', u. s. w., welches mit der Richtung der Kraftlinien einen gewissen Winkel einschließt, gilt nunmehr dasselbe, wie für l. Nun bilden die Leiterelemente $l\,l'$ u. s. w. (Fig. 120) einen zusammengesetzten Leiter, bei dem sich sämmtliche Stromimpulse zu einer temporären elektromotorischen Kraft vereinigen, welche im Ringe in ein und derselben Richtung wirkt.

Betrachtet man die Anzahl der Kraftlinien, welche durch die Fläche des Kreisringes geht, so ist diese, — wenn φ den Winkel bedeutet, welchen die

Ebene des Ringes mit der Kraftlinienrichtung einschließt, — nach Fig. 121 bei $\varphi = 0°$ und $\varphi = 180°$ ein Minimum, bei 90° und 270° ein Maximum. Man kann daher für die Richtung der elektromotorischen Kraft in einem geschlossenen Leiter folgende Regel aufstellen:

„Bewegt sich ein Drahtring durch ein gleichförmig magnetisches Feld, u. zw. derart, dass die Zahl der Kraftlinien, welche durch die Fläche gehen, abnimmt und wird der Ring in der + Richtung der Kraftlinien betrachtet, so wirkt die elektromotorische Kraft E im Sinne der Uhrzeigerbewegung oder direct; nimmt hingegen die Kraftlinienzahl zu, so wirkt E in einer der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzten (inversen) Richtung." Diese für den Ring aufgestellte Regel gilt nun ganz allgemein.

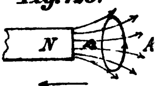
Fig. 122.



β) Bewegt man ein Drahtviereck abd um die Axe c in einem gleichförmig magnetischen Felde, so schneidet bei der Bewegung desselben nur die Seite b Kraftlinien, während a und d sich parallel zu den Kraftlinien bewegen. Die Richtung des in b inducierten Stromes gibt wieder die vorerwähnte Regel, nach welcher der Strom von oben nach unten verlaufen wird. Tritt b hinter die Zeichenebene, so ist die elektromotorische Kraft nach unten gerichtet. Nimmt man statt der Hälfte abd das geschlossene Viereck $abdefg$ an, so addieren sich die in b und f erzeugten, elektromotorischen Kräfte zu einer Gesammt-Elektromotorischen Kraft, und der Stromverlauf im geschlossenen Vierecke ist derselbe, wie beim Ringe.

Die Größe der in einem geschlossenen kreisförmigen Leitersysteme zu einer bestimmten Zeit t inducierten, elektromotorischen Kraft E wird nun durch das Verhältnis gemessen, in welchem die vom Leiter eingefassten Kraftlinien N in der Zeiteinheit an Zahl ab- oder zunehmen $\left(\frac{dN}{dt}\right)$. Dreht man den Leiter in Fig. 121 um ein sehr kleines Stück (von B' bis E) weiter, so gibt die Linie $B'G$ die Änderung der Kraftlinienzahl (dN) an. Aus dem Dreiecke $B'GE$ folgt, dass $B'G = B'E \sin \omega$ ist, d. h. die Änderung der Kraftlinienzahl ist dem Sinus des Drehwinkels proportional; sonach ist $dN = N \sin \omega$, wenn N die Zahl der Kraftlinien ist, welche die Leiterfläche treffen, sobald diese senkrecht zu der Richtung der Kraftlinien L steht.

Fig. 123.



Ist nun F die Fläche des Leiters, so ist allgemein:

$$E = c F \frac{dN}{dt},$$

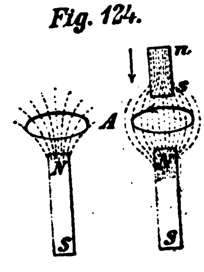
wobei c eine Constante bezeichnet.

Ändert sich während der Bewegung die Zahl der Kraftlinien nicht, so wird auch keine elektromotorische Kraft induciert. Dies ist z. B. der Fall, wenn sich der Ring A (Fig. 120) in seiner eigenen Ebene sich dreht.

b) Bewegung eines magnetischen Feldes gegen einen festen Leiter. Wenn man, wie in Fig. 123, den Nordpol N eines Magneten gegen den Drahtring A bewegt, so wird die Anzahl der Kraftlinien, welche durch die Ringfläche geht, stetig vermehrt. Der Inductionsstrom hat demnach dieselbe Richtung, wie wenn der Leiter A gegen den Nordpol sich bewegen würde.

c) Induction beim Entstehen und Verschwinden eines magnetischen Feldes. Inductionsströme können nicht nur bei der Bewegung von Leitern oder magnetischen Feldern entstehen, sondern auch beim Entstehen und Verschwinden eines magnetischen Feldes, oder aber, wenn Schwankungen in demselben eintreten, d. h. das Feld verstärkt oder geschwächt wird. Die Wirkung beim Entstehen eines Feldes ist genau dieselbe, als ob der Leiter plötzlich aus unendlicher Entfernung in seine bestehende Lage (oder in das Feld) gebracht worden wäre. Ist z. B. ein Drahtring *A* (Fig. 124) vor einem Magnetpol gestellt, und bringen wir plötzlich einen weichen Eisenstab *ns* in die Polnähe, so wird das magnetische Feld verstärkt und im Drahtringe wird ein inverser, bei der Entfernung des Eisenstückes aber ein direct gerichteter Strom auftreten.

Fig. 124.



3. Grundgesetze der Volta-Induction.

Da nach Seite 69 ein elektrischer Strom ein magnetisches Feld erzeugen kann, so wird eine Induction auch in den unter *B*, Seite 81 angeführten Fällen auftreten können.

Die Betrachtung der vorkommenden verschiedenen Fälle ergibt wieder folgendes:

a) bei der Bewegung eines begrenzten, linearen Leiters *BB* im elektrischen Felde des Leiters *AA* (Fig. 125) schneidet ersterer auf seinem ganzen Wege die Kraftlinien des Stromes in *A*; sonach wird, so lange die Bewegung anhält, in *B* eine elektromotorische Kraft induciert. Die Richtung derselben kann nach der Faraday'schen Regel bestimmt werden. Die allgemeine Regel kann in diesem Falle auch lauten:

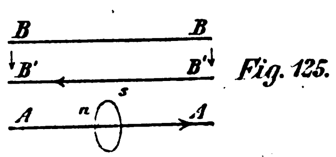
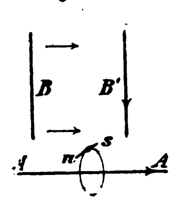


Fig. 125.

„Näherungsströme haben die entgegengesetzte, Entfernungsströme die gleiche Richtung, wie der im festen Leiter verlaufende Strom."

Jener Leiter, welcher das gegebene elektrische Feld darstellt, heißt der „primäre" (auch inducierende), derjenige Leiter, in welchem Inductionsströme erzeugt werden, der „secundäre" (oder inducierte) Stromleiter. Wirkt der letztere wieder inducierend auf einen dritten Leiter, so entsteht in diesem ein „tertiärer" Inductionsstrom (auch ein Strom zweiter Ordnung).

Fig. 126.



Bewegt sich ein Leiter *B* (Fig. 126) senkrecht zum Stromleiter *A* und parallel mit der Axe von *A*, so gibt die Faraday'sche Regel die in der Figur gezeichnete Stromrichtung. Hiezu muss man sich aber in *A* die Kraftlinien und in dieser eine, die + Richtung derselben markierende Magnetnadel *ns* gesetzt denken. Beim geschlossenen Leiter (Drahtring, Viereck) folgt der Inductionsstrom denselben Gesetzen wie vor.

b) Der beim Entstehen und Verschwinden eines Stromes, bezw. bei Änderungen in der Stromstärke auftretende Inductionsstrom kann, was sein Entstehen betrifft, einem constanten Strom gleichgehalten werden, der plötzlich aus unendlicher Entfernung an seinen Ort bewegt wird. Er inducirt, gleich wie die Zunahme der Stromstärke im primären Leiter, einen Strom von entgegengesetzter Wirkung. Der Inductionsstrom hört auf, sobald der primäre Strom eine constante Größe erreicht hat. Eine Schwächung der Stromstärke wirkt wie eine Entfernung des Stromleiters, und ebenso eine Unterbrechung, in welch' letzterem Falle es so ist, als ob plötzlich ein constanter Strom in unendliche Entfernung gerückt worden wäre.

Fig. 127, 128.

Ist der primäre Stromkreis ein Drahtring oder ein Solenoid, so führt man die Inductionserscheinungen am einfachsten auf die Magneto-Induction zurück, da die Solenoide ähnliche Eigenschaften, wie das magnetische Feld von Scheiben- oder von Stabmagneten haben. Die genannten Figuren zeigen den Stromverlauf im Ringe A bei dessen Annäherung an, bezw. Entfernung von rechts oder links gewundenen Spiralen.

4. Verstärkung der Induction.

Die Induction kann verstärkt werden:

a) Durch Multiplication der Drahtwindungen, d. h. durch Anwendung möglichst vieler und in großer Menge auf- und nebeneinander befindlicher Windungen. Die in den einzelnen, hintereinander geschalteten Windungen inducierten, elektromotorischen Kräfte addieren sich.

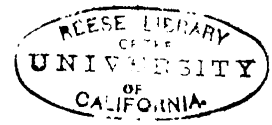
b) Durch Anwendung von Eisenkernen, indem zu den Kraftlinien des inducierenden Stromes noch jene des Eisenkernes hinzutreten. Man hat also hier gleichzeitig Volta- und Magnetinduction. Wenn man daher in einem Elektromagneten den Strom unterbricht, so werden in der Windungs- (Inductions-) Rolle die Kraftlinien des Stromes gleichzeitig mit jenen des temporären Magneten verschwinden; die Induction wird in diesem Falle kräftiger, als wenn kein Eisenkern vorhanden wäre.

5. Eigenschaften der elektromotorischen Kraft der Induction.

Nach verschiedenen Experimentaluntersuchungen hat sich ergeben:

a) die Größe der elektromotorischen Kraft E ist unabhängig von der Substanz der inducierenden Magnete oder Stromleiter als auch der inducierten Leiter.

In einem geschlossenen Leiterkreise, der sich in einem magnetischen Felde bewegt, werden Ströme erzeugt, ohne dass von vorneherein eine Spannungsdifferenz herrscht. Der Ausdruck „elektromotorische Kraft“ ist daher ein allgemeiner und bedeutet „Ursache einer Elektricitätsbewegung“; es ist aber die „elektromotorische Kraft der Induction“ von der elektromotorischen Kraft eines galvanischen Elementes wohl zu unterscheiden, bei welch' letzterer immer eine Potentialdifferenz zwischen den beiden Polklemmen herrscht.



2. Die elektromotorische Kraft der Induction ist unabhängig von dem Flächeninhalt des Leiterquerschnittes. Sie ist aber abhängig von der geometrischen Form, von der Windungszahl und Lage der Stromleiter zu einander Dieser letztere Factor bestimmt den „Coëfficienten der gegenseitigen Induction".

3. Die Induction ändert sich ferner mit der Stärke des inducierenden Stromes und

4. mit der Geschwindigkeit, mit welcher der Leiter oder das magnetische Feld seine Lage ändert.

Die Inductionsströme sind keine constant andauernden Ströme, wie bei den Volta-Elementen, sondern sind stoßweise auftretende, meist auch die Richtung wechselnde, elektrische Ströme.

6. Die Selbstinduction.

a) Begriff. Wird in einem Leiter mit constanter elektromotorischer Kraft der Stromkreis geöffnet oder geschlossen, oder tritt plötzlich eine Aenderung der Stromstärke ein, so wirkt die hiebei auftretende elektromotorische Kraft der Induction nicht blos auf einen getrennten Nachbardraht, sondern auch von jeder Stelle *a* (Fig. 129) auf eine andere benachbarte Stelle *b* desselben Leiters und auf sich selbst. Dieser Einfluss macht sich besonders bei Stromspulen mit vielen Windungen stark bemerkbar. Man hat beobachtet, dass der beim Schließen eines Stromkreises entstehende primäre Strom infolge des hiebei erzeugten inducierten Stromes geschwächt wird, während beim Öffnen des Stromkreises der inducierte Strom, da er dem verschwindenden gleich gerichtet ist, die Abnahme des Hauptstromes verzögert, sonach diesen zu verstärken trachtet. Man nennt die inducierten Ströme „Extraströme" (Gegenströme), meist aber „die Selbstinduction eines Leiters". Die hiebei auftretende elektromotorische Kraft ist jene der Selbstinduction.

Fig. 129.

Eine Selbstinduction wird stets dann hervorgerufen, wenn in einem Leiter ein Strom entsteht, verschwindet, oder aber die Stromintensität sich ändert.

Die Selbstinduction beeinflusst sonach den Verlauf der elektromotorischen Kraft der Induction[1]) in der Weise, dass der Hauptstrom infolge der gegenwirkenden Selbstinduction stets eine gewisse Zeitdauer braucht, um einerseits zu seiner vollen Stärke zu gelangen, anderseits um den Wert Null zu erreichen. In diesem Sinne kann die Selbstinduction entweder als „elektromotorische Gegenkraft" oder aber als „scheinbarer Widerstand" aufgefasst werden. Einen wesentlichen Einfluss erlangt dieselbe beim Öffnen eines Stromkreises, wo unter Umständen an den Unterbrechungsstellen sehr starke Funken auftreten können; den größten Einfluss erreicht sie aber beim Wechselstrome, wo sie mehrfache, später noch näher zu erörternde Folgen nach sich zieht.

b) Der Inductions-Coëfficient. Die Größe der Selbstinduction, bezw. die Größe ihrer elektromotorischen Kraft wird nun durch den „Selbstinductions-Coëfficienten" bestimmt.

---

[1]) Es entsteht ein magnetisches Feld des Stromes und dies involviert, wie Seite 85 gesehen, eine Induction im Stromleiter.



Nimmt man an, dass im Stromkreise der Fig. 130, in welchem eine Elektricitätsquelle E und ein Widerstand R eingeschaltet ist, der Strom geschlossen wird, so wird der Strom seine normale Intensität $\left(J = \frac{E}{R}\right)$ erst nach einer bestimmten Zeit annehmen; es tritt hier eine elektromotorische Gegenkraft auf. Würde man nun in den Stromkreis eine Drahtspule R' dazu schalten, so müsste der Strom auf die Intensität $J' = \frac{E}{R + R'}$ sinken. Es würde das Feld des Stromes geschwächt und nach Seite 86 wieder ein Inductionsstrom, bezw. eine diesen erzeugende elektromotorische Kraft auftreten, welche die Änderung der Stromstärke zu hindern sucht.

Fig. 130.

Denkt man sich nun im Stromleiter die Stromstärke um den Betrag der absoluten Einheit (= 10 Ampère) in der Zeiteinheit geändert (dieselbe also zu oder abnehmen gelassen), so wird die hiebei auftretende elektromotorische Kraft als „Selbstinductions-Coëfficient“ bezeichnet.

Würde allgemein die Stromstärke sich um den Betrag $d\,i$ während der Zeit $d\,t$ ändern, so würde die „elektromotorische Kraft der Selbstinduction“ durch

$$e = - L \frac{d\,i}{d\,t}$$

ausgedrückt werden können, wobei das negative Zeichen deswegen hinzuzufügen ist, weil die Selbstinduction sowohl das Anwachsen, als auch das Verschwinden des Stromes zu hindern trachtet.

Wenn nun in einem Zeittheilchen $d\,t$ eine solche Änderung der Stromstärke stattfinden würde, dass $\frac{d\,i}{d\,t} = 1$ wird, so ist $e = - L$, oder gleich dem Selbstinductions-Coëfficienten. Man kann daher letzteren allgemein als „jene elektromotorische Kraft bezeichnen, welche auftritt, wenn in dem Zeittheilchen dt der Strom sich um einen solchen Betrag ändert, dass $\frac{d\,i}{d\,t} = 1$ wird“. Dies tritt für $d\,t = 1$ und $d\,i = 1$ ein. Würde man die Dimensionsgleichung für L bestimmen, so würde L einer Längendimension (dem *cm*) entsprechen, oder es würde, wenn man obige Gleichung in der Form $e = -\left(\frac{L}{d\,t}\right) d\,i$ schreibt, der Selbstinductions-Coëfficient einen Widerstand darstellen.

Für die Bestimmung der Selbstinduction hat man eine „Einheit der Selbstinduction“ aufgestellt und diese wieder mit einem besonderen Namen, dem „Henry“ (H) belegt [1]).

In absoluten Einheiten würde für $d\,t = 1$ Secunde und für $d\,i = 10$ A. $1\,H = 10^9$ absolute Einheiten sein.

Der Selbstinductions-Coëfficient ist nun nach der magnetischen Permeabilität der den Stromleiter umgebenden Medien ein verschiedener. Er ist abhängig:

[1]) Der Congress im Jahre 1893 hat diesen Namen für die früher übliche Bezeichnung „Quadrant“ gewählt.

1. Von der geometrischen Gestalt des Leiters, und ist in der Windung größer als beim geraden Leiter. Biegt man einen Leiter zu einer Schleife (Fig. 131), so ist er inductionsfrei, da die in den beiden Leitertheilen auftretenden Inductionsströme einander entgegengesetzt gerichtet sind.

Fig. 131.

2. Von der Windungszahl. Der Selbstinductions-Coëfficient ist umso größer, je größer die Zahl der Windungen ist. Solenoide mit vielen Windungen besitzen daher einen großen Selbstinductions-Coëfficienten.

3. Von der Stromstärke, mit deren Zu- oder Abnahme er unter sonst gleichen Umständen wächst oder abnimmt, endlich

4. von dem früher erwähnten Umstande, ob nämlich im Stromkreise Eisen vorhanden ist, oder nicht (z. B. bei Stromspulen mit Eisenkernen). Im ersteren Falle erreicht er einen größeren variablen Wert als im letzteren und wird dann, da das Eisen seinen Magnetismus mit der magnetisierenden Kraft ändert, als eine Function des Stromes aufgefasst werden müssen. Ist kein Eisen vorhanden, so besitzt L einen constanten, von den unter 1, 2 und 3 gegebenen Bedingungen abhängigen Wert. Je nachdem man es nun in der Technik mit constantem oder variablem Selbstinductions-Coëfficienten zu thun hat, werden sich die analytischen Ausdrücke der bezüglichen Rechnungen wesentlich vereinfachen oder complicieren. Im allgemeinen bleiben aber die principiellen Folgerungen, welche durch die Beeinflussung der Selbstinduction entstehen, stets von derselben Natur.

Der Selbstinductions-Coëfficient lässt sich entweder α) in gewissen Fällen berechnen, oder β) in anderen Fällen messen. Das erstere ist ziemlich schwierig und oft sehr compliciert. Der Orientierung halber soll im nachfolgenden Beispiele

die Berechnung des Selbstinductions-Coëfficienten einer Stromspule ausgeführt werden.

Fig. 132.

Es sei in Fig. 132 ein Holzring R vom Querschnitte q gegeben, der mit isoliertem Kupferdraht bewickelt ist. Ist l die Länge der Mittellinie, N die Windungszahl per *cm* Länge, so wird, wenn ein Strom von der Stärke Eins in die Windungen tritt, ein Feld erzeugt, dessen Stärke (nach Seite 71) $H = 4\pi n J$, — wobei $n = \frac{N}{l}$ ist.

Die Selbstinduction ist nun bei der absoluten Einheit der Stromstärke: $e = -L$.

Da obiger Feldintensität beim Querschnitte q, $Z = q H = 4 \pi n q J$ Kraftlinien entsprechen, wird, wenn sich J um die absolute Einheit ändert, H um $d H = 4 \pi n q . 1$ sich ändern.

Nachdem in jeder Windung eine elektromotorische Kraft von $4 \pi n q$ induciert wird, wird in allen N Windungen eine Gesammt-Elektromotorische Kraft von

$$4 \pi n q N = L = \frac{4 \pi N^2 q}{l} \text{ absolute Einheiten, oder } L = \frac{4 \pi N^2 q}{10^9 l} \text{ Henry}$$

resultieren.

Beispiel. Ist für eine Drahtspule $q = 1 cm^2$, $l = 1{\cdot}5 m$, $N = 1500$ Windungen, sonach $n = 10$ Windungen pro *dm* Länge, so ist

α) ohne Eisenkern

$$L = \frac{4\pi . 1500^2 . 100}{150} = 18{,}850.000 cm \text{ oder } L = 0{\cdot}01885 \text{ Henry } (H).$$

β) Ist in obiger Stromspule jedoch ein Eisenkern eingeschoben, welcher bei $J = 1$, ein $B = 11640$ und $\mu = 2600$ hat, so ist, weil die Permeabilität im Innern des Solenoids jetzt 2600mal größer als ohne Eisenkern ist, die Veränderung des Selbstinductions-Coëfficienten auch 2600mal so groß und daher die Selbstinduction $L' = 2600 \times 0{\cdot}01885 = 44$ Henry.

Allgemein ist die Selbstinduction $L = \mu . \frac{4\pi n^2 l q}{10 q}$.

c) Wirkung der Selbstinduction[1]. Aus dem auf Seite 87 Angeführten ist hervorgegangen, dass die Selbstinduction jede Stromänderung hemmt. Man hat sie deshalb auch die „elektrische Trägheit" genannt. Um nun ein Bild über den Einfluss der Selbstinduction zu gewinnen, sei nachstehende theoretische Erörterung gegeben: Wird der Stromkreis (Fig. 130), in welchem ein Gleichstromgenerator E und eine Spule S vom Ohm'schen Widerstande R bezw. constanten Selbstinductions-Coëfficienten vorhanden ist, geschlossen, so wird der Strom nicht sofort seine normale Intensität J erreichen, sondern erst nach und nach. Es besteht also eine Zeitperiode, während welcher J veränderlich ist. Innerhalb dieser Zeitperiode hat die Elektricitätsquelle den Ohm'schen Widerstand und die gegenelektromotorische Kraft der Selbstinduction zu überwinden, kann also analytisch ausgedrückt werden durch: $E = Ri + L\frac{di}{dt}$.

Diese Gleichung kann auch geschrieben werden $E - Ri = L\frac{di}{dt}$.

Durch Integration bestimmt man sich hieraus

$$t = -\frac{L}{R} lgn (E - Ri) + c.$$

c bestimmt den Stromwert für eine gewisse Zeitangabe, also z. B. für den Moment, wo der Strom geschlossen wird, sonach für $t = 0$ ist $i = 0$.

Man bekommt bei weiterem Verfolg der Rechnung einen Endwert

$$i = J\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right), \text{ worin } e = 2{\cdot}17 \text{ ist.}$$

i ist also kleiner als J, und wird theoretisch erst für einen Wert $t = \infty$ gleich J. In praxi erreicht i schon nach einem Bruchtheil einer Secunde einen solchen Wert, dass sich i von J nicht mehr unterscheidet.

Da die Größe $\frac{R}{L} = \tau$ ihren Dimensionen nach eine Zeit vorstellt, so kann obige (erste Helmholz'sche) Gleichung auch geschrieben werden:

$$i = J(1 - e^{-\tau}).$$

Je größer nun die „Zeitconstante τ der Selbstinduction" ist, desto langsamer wird ein Strom anwachsen. τ ist groß, wenn R klein und L groß ist (z. B. wenn man einen Transformator an eine Batterie schaltet). τ würde $= O$ sein, wenn $L = O$ wird; dann ist $i = J$.

[1]) Über die Wirkung der Selbstinduction beim Wechselstrom siehe Diesen.

Beispiel. Für das Seite 90 angeführte Beispiel würde R einem Widerstande 20 Ω entsprechen.

Es wird sonach im Falle α) des Beispieles:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0\cdot01885}{20} = 0\cdot00094 \text{ Secunden sein.}$$

Im Falle β) würde, wenn zur Magnetisierung eine Kraft $E = 7\cdot2$ V. und einen Strom $J = 0\cdot36$ A. verwendet wird, ein Feld $H = 4\cdot5$ entstehen.

Da $L' = 44$ Henry ist, wird $\tau = \frac{44}{20} = 2\cdot2$ Secunden sein.

Die Elektricitätsmenge, welche der Selbstinduction beim Schließen des Stromes entspricht, ist

$$Q = J.\frac{L}{R}.$$

Die Arbeit, welche in jedem Zeitelemente geleistet wird, dient einerseits zur Unterhaltung des Stromes, anderseits zur Überwindung der Selbstinduction

$$E\,i\,d\,t = R\,i^2\,d\,t + L\frac{d\,i}{d\,t}.i\,d\,t.$$

Diese letztere Arbeit, welche bis zu jenem Zeitpunkte geleistet wird, wo der Strom seinen Maximalwert erreicht, ist

$$A = \int_0^\alpha L\frac{d\,i}{d\,t}.i\,d\,t = L\frac{J^2}{2}.$$

Vorstehender Arbeitsbetrag, welcher z. B. bei Magnetisierungsspiralen mit großem Eisenquerschnitt und vielen Windungen einen beträchtlichen Wert erreichen kann, geht nun nicht verloren, sondern wird zur Erzeugung des magnetischen Feldes verwendet.

Beispiel. Ist $E = 43$ V. $J = 5$ A. Für ein Solenoid $L = 0\cdot077$ und $R = 8\cdot7$ Ω, so wird beim Stromschluss und Eisenkern

$$\tau = 0\cdot088 \text{ Secunden, ferner } Q = \frac{5.0\cdot077}{8\cdot7} = 0\cdot045 \text{ Coulomb; sonach}$$

$$A = \frac{L\,J^2}{2} = 0\cdot077.\frac{25}{2} = 0\cdot96 \text{ Joule} = 0\cdot098\ kgm.$$

Ist jedoch ein Eisenkern vorhanden, dann ist für $L' = 44$, und für $J = 0\cdot36$ A. und $R = 20$ Ω angenommen,

$$Q_1 = \frac{0\cdot36}{20}.44 = 0\cdot79 \text{ Coulomb und } A_1 = \frac{1}{2}44.0\cdot36 = 2\cdot86^2 \text{ Joule} = 0\cdot3 mkg.$$

Nimmt man den Fall an, dass der Stromkreis unterbrochen wird, so wird der Strom nicht sofort verschwinden, sondern es wird eine Induction auftreten, welche dieser Unterbrechung entgegenwirkt. Da die elektromotorische Kraft jetzt Null wird, bekommt man analog der früheren, analytischen Ableitung den Schlusswert:

$$i = J\,e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ (zweite Helmholz'sche Gleichung),}$$

woraus für $t = \infty$, $i = O$ wird.

In praxi findet das Abnehmen aber ebenso rasch, wie das Anwachsen statt. Die Raschheit hängt wieder von R und L ab. Ist R groß und L klein,

so wird der Strom rasch abnehmen. Die der Induction entsprechende Elektricitätsmenge ist

$$Q = \frac{JL}{2} \text{ und die Arbeit } A_1 = -\frac{LJ^2}{2}.$$

Die Arbeit, welche in Form des magnetischen Feldes vorhanden war, wird jetzt wieder frei gegeben. Unterbricht man nun den Stromkreis rasch, so ändert sich der Widerstand R; er wächst ins Unendliche und die auftretende elektromotorische Kraft kann sehr groß werden; infolge dessen können Funkenbildungen auftreten.

Beispiel. Für ein Solenoid und Eisenkern wäre $R = 20\,\Omega$, $J = 0{\cdot}36$ A., $L = 44\,H$; ferner $B = 11600$, $N = 1500$. Würde in der Zeit $^1/_{100}$ Secunde ausgeschaltet werden und hiebei eine Querschnittsverminderung auf 0·99 eingetreten sein, also $q' = 90 cm^2$, so würden 11600.90 Kraftlinien verschwinden. Die mittlere elektromotorische Kraft wird daher in Volt ausgedrückt,

$$E = \frac{11600.90}{\frac{1}{100}} \cdot \frac{1500}{10^8} = 1566 \text{ Volt sein.}$$

So hohe Spannungen können aber die Isolationen beschädigen. Man muss daher, wenn so hohe Spannungen angewendet werden, langsam ausschalten.

d) Gegenseitige Induction. Sind I und II (Fig. 133) zwei benachbarte Leiter, so werden bei Stromschwankungen im Leiter I, Inductionsströme in II auftreten und man bezeichnet als „elektromotorische Kraft der gegenseitigen Induction" jene elektromotorische Kraft, welche im Leiter II auftreten würde, wenn im Leiter I die Stromstärke in der Zeiteinheit um den Betrag der absoluten Einheit (10 A.) sich ändert. Ändert sich in I die Stromstärke in der Zeit dt um di, so wird

Fig. 133.

$$e = -M\frac{di}{dt},$$

wenn M der „Coëfficient der gegenseitigen Induction" ist.

Die Berechnung von e ist nun sehr compliciert, da nebst der gegenseitigen Induction auch noch der Selbstinductions-Coëfficient in Rechnung zu ziehen ist; dies compliciert sich insbesondere dann, wenn in I und II elektromotorische (constante oder periodisch variierende) Kräfte vorhanden sind.

In diesem Falle muss jede elektromotorische Kraft in jedem Zeitmomente den Ohm'schen Widerstand, die Selbst- und die gegenseitige Induction überwinden.

Eine volle Lösung ist nach analytischen Ableitungen nur möglich, wenn

$$M^2 \gtreqless L_1 L_2 \text{ oder } M \gtreqless \sqrt{L_1 L_2} \text{ ist.}$$

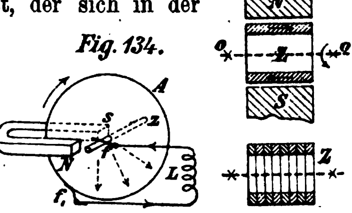
Bei den Transformatoren, wo nur in der Spule I eine Elektricitätsquelle wirkt, ist: $M \doteq \sqrt{L_1 \cdot L_2}$.

Ist z. B. $L_1 = 4$ Henry, $L_2 = 0{\cdot}04\,H$, so ist $M = 0{\cdot}4$ Henry.

e) Induction in körperlichen Leitern. Auch bei den Leitern von mehreren Dimensionen werden Inductionsströme erzeugt, sobald Kraftlinien geschnitten werden. Die Richtung dieser Inductionsströme kann leicht mit Hilfe der Faraday'schen Regel bestimmt werden.

Wird das Feld durch einen Magnet erzeugt, so kann durch das Bewegen der Leiter vor den Magnetpolen, ferner durch Rotationsmagnetismus etc., Induction in körperlichen Leitern entstehen.

Bewegt sich, wie in Fig. 134, eine rotierende Kupferscheibe A zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten, so entstehen bei der in der Fig. 134 gezeichneten Anordnung und Drehrichtung Ströme, welche von der Axe z gegen den Rand verlaufen. Die Intensität dieser Ströme ist umso geringer, je größer der Widerstand ist, der sich in der Masse des Leiters der elektromotorischen Kraft der Induction darbietet. Lässt man einen Cylinder Z (Fig. 135) zwischen zwei Magnetpolen NS rotieren, so entstehen im Cylinder Inductionsströme von der, in der Fig. 135 gezeichneten Richtung. Will man das Zustandekommen dieser Ströme verhindern, so muss man die Continuität der Metallmasse unterbrechen, indem man den Cylinder zerschneidet.



Auch durch Volta-Induction können, wie verschiedene Experimente beweisen, Inductionsströme in körperlichen Leitern erzeugt werden. Wichtig ist jedoch die Wirkung der Inductionsströme in den körperlichen Leitern. Infolge dieser Induction können sich Magnete, oder aber Drähte, welche einen elektrischen Strom enthalten, nicht so frei wie andere Körper bewegen, sondern es ist ihre Bewegung einer Hemmung unterworfen.

Nach dem Lenz'schen Gesetze suchen die Inductionsströme die Bewegung zu hemmen. Dadurch, dass die Ströme nun der Bewegung entgegenwirken, erwärmen sie die körperlichen Leiter.

Man kann diese Hemmung demonstrieren, wenn man einen Kupferstreifen zwischen den zwei Polen eines Elektromagneten frei schwingen lässt; er bleibt dann zwischen den Polen stecken, wie wenn er in eine zähe Flüssigkeit geführt worden wäre. Man benennt die in den Metallmassen durch deren Bewegung in einem magnetischen Felde entstehenden Ströme, welche die Bewegung zu hindern suchen, als „Wirbel-“ oder auch als „Foucault'sche Ströme“.

Diese Wirbelströme erzeugen zunächst Wärme. Sie wirken aber wieder inducierend auf das magnetische Feld zurück, und dies ist der Grund, dass das Eisen bei seiner Magnetisierung durch den elektrischen Strom seinen Magnetismus nicht sofort, sondern erst nach und nach annimmt, und dass es seinen Magnetismus nicht sofort verliert; ferner weshalb zum Umkehren der Pole eine gewisse Zeit nothwendig ist. Um die zu starke Erwärmung der Metallmassen durch die Wirbelströme zu vermeiden, untertheilt man stets die Massen.

f) Messung der Selbstinduction. Dies geschieht in der einfachsten Weise dadurch, indem man mittels einer Wheatstone'schen Brücke (Seite 38) den Leitungswiderstand R der Leiterform (z. B. einer Stromspule) bestimmt.

Sodann setzt man an Stelle der Batterie einen Wechselstromapparat (z. B. eine Maschine), dessen Wechselzahl n genau bekannt ist und an Stelle des Galvanometers ein Elektrodynamometer. Nun wird nochmals der scheinbare Widerstand R_1 mit der Brücke gemessen. Nach Seite 145 ist

$$R^1 = \sqrt{R^2 + (2\,\pi\,n\,L)^2},$$

woraus man, da R, R^1, n jetzt bekannt sind, den Selbstinductions-Coëfficienten L rechnen kann.

Der Coëfficient der gegenseitigen Induction wird nach der Methode von Pirani (Elektrotechnische Zeitschrift, 1887) bestimmt.

Die elektrischen Maschinen.

Begriff. Eintheilung.

Die Inductionserscheinungen geben das Mittel mechanische Energie in elektrische umzusetzen. Umgekehrt kann man infolge der elektromagnetischen Wechselwirkung elektrische Arbeit wieder in mechanische umsetzen. Beides geschieht dadurch, dass sich ein Stromleiter in einem magnetischen Felde derart bewegt, dass eine variable Zahl von Kraftlinien geschnitten wird, oder dass umgekehrt ein elektrischer Strom in einen, in einem magnetischen Felde befindlichen Leiter eingeleitet wird.

Die Apparate, mit welchen diese Umwandlung der Energien ausgeführt werden kann, heißen im allgemeinen *elektrische Maschinen*, u. zw. im ersteren Fall „*Generatoren*“ (Stromerzeuger), im letzteren „*Elektromotoren*“ (Triebmaschinen).

Die elektrischen Maschinen bestehen im wesentlichen:

1. aus dem *inducierenden Systeme*, welches das „magnetische Feld“ enthält. Dieses ist entweder schon vorhanden, wie z. B. bei den älteren Maschinen, wo man permanente (Stahl-)Magnete verwendet hatte (*magnetelektrische Maschinen*), oder es wird das magnetische Feld erst geschaffen, u. zw. dadurch, dass man Elektromagnete anwendet, welche entweder aus besonderen Elektricitätsquellen mit Strom gespeist, bezw. erregt werden (*Maschinen mit separater Erregung*), oder dass man die Elektromagnete durch den von der Maschine selbst entnommenen Strom erregt.

Letztere Typen — „*Dynamomaschinen*“ oder „*selbsterregende Maschinen*“ genannt, — haben neuerer Zeit die größte Bedeutung erlangt. Hingegen finden die Maschinen mit permanenten Magneten wegen ihrer geringen Leistungsfähigkeit, geringen Dauerhaftigkeit, dann wegen den nothwendigen großen Dimensionen und der Gewichtsverhältnisse gegenwärtig keine praktische Anwendung mehr und besitzen infolge dessen nur mehr historischen Wert [1].

---

[1] Hieher gehören die Maschinen von *Pixi*, *Stöhrer*, die Alliancemaschine etc. In sehr kleiner Ausführung werden solche Maschinen jedoch heute noch für Inductionsläutewerke und zu Zündmaschinen verwendet.

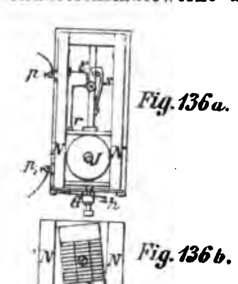

Fig. 136a.
Fig. 136b.

Fig. 136*a* und 136*b* stellen eine Zündmaschine von *Markus* dar, bei welcher ein Siemens-Doppel-*T*-Inductor *J* zwischen den Polen eines permanenten Magneten *N* um ein geringes mittels einer Handhabe *G* gedreht wird. Beim Niederdrücken der Feder *h* schnellt der gedrehte Inductor zurück, erzeugt einen Inductionsstrom, der durch den mitschwingenden Klöppel *s* unterbrochen wird.

Das eine Ende der Inductorbewicklung hat die Verbindung mit der Metallmasse der Maschine, bezw. Klemme *p*, während das andere Ende über Contact *r* mit dem Contactstift *s* und der Klemme p_1 verbunden ist. Der Klöppel *s* unterbricht an *t* durch seine Vibrationen den Inductionsstrom und erzeugt in den Zündern Unterbrechungsfunken.

Fig. 136.

Fig. 136 stellt im Detail einen Siemens-Doppel-*T*-Anker vor. *z* ist der Eisencylinder (Ankerkern), *s* die Bewicklung, deren Enden zu zwei von einander isolierten Schleifringen cc_1 am Ende der Ankerwelle (oder zu einem zweitheiligen Commutator) geführt sind, von wo die Inductionsströme durch schleifende Federn abgenommen werden.

2. Aus dem inducierten Systeme oder dem „Inductor“ (auch „Anker“ oder „Armatur“ genannt). Der Anker wird aus jenen Leitern gebildet, welche sich im magnetischen Felde bewegen und dadurch der Sitz einer inducierten elektromotorischen Kraft werden. Die im Anker erzeugten Ströme werden durch „Stromsammler“ (Commutatoren, Collectoren) gesammelt und durch „Stromabnehmer“ (Bürstenapparate) dem äußeren oder Nutzstromkreise zugeführt.

Im allgemeinen ist die Bewegung des Ankers eine rotierende, und sind sonach zu dessen Bewegung Wellen und Antriebscheiben nothwendig.

Die Zahl der bisher üblichen elektrischen Maschinensysteme ist eine sehr große. Als die gegenwärtig am meist ausgebildetsten Maschinentypen sind die Maschinen mit Elektromagneten (elektromagnetische Maschinen) zu bezeichnen, von welchen man je nach der Stromform „Gleichstrom-“ oder „Wechselstrommaschinen“ unterscheiden kann. Die ersteren finden bei der Vorfeld-, Innen-, dann Schiffsbeleuchtung eine ausgedehnte militärische Anwendung und sollen daher zuerst näher besprochen werden.

I. Gleichstrommaschinen.

A. Beschreibender Theil.

1. Princip. Eintheilung.

Bei den Gleichstrommaschinen sind die im Anker inducierten Ströme in ihrer Summe von gleichbleibender Richtung und Stärke. Sie besitzen sonach den Batterieströmen analoge Eigenschaften. Die Construction der Gleichstrom-Dynamomaschinen beruht auf dem Siemens'schen dynamoelektrischen Principe, d. i. auf dem Principe der Selbsterregung, nach welchem durch die bloße mechanische Rotation eines Ankers in eine remanent magnetischen Felde direct Elektricität erzeugt und diese zur Verstärkuug des Feldes herangezogen wird. Infolge der Einwirkung des Erdmagnetismus oder einer einmaligen Magnetisierung besitzt nämlich jedes Stück weiche Eisen (sonach auch die Eisenkerne der Elektromagnete der Dynamomaschinen) einen, wenn auch äußerst geringen Grad von zurückbleibendem Magnetismus. Bewegt man nun eine Drahtrolle vor einem Elektromagnet, u. zw. mit gleichmäßiger Geschwindigkeit, so werden in dieser Rolle infolge des vorhandenen, geringen magnetischen Zustandes der Eisenkerne, Inductionsströme entstehen. Werden diese Ströme gleichgerichtet und sodann in die Windungen der Elektromagnete geleitet, so verstärkt sich durch die Stromwirkung der Magnetismus des Eisens der Feldmagnete. Das magnetisch stärker gewordene Eisen bewirkt seinerseits in der Drahtrolle stärkere Inductionsströme, welche wieder den Magnetismus der Kerne erhöhen und dadurch selbst an Stärke zunehmen. So verstärkt also fortgesetzt der erhöhte Magnetismus die Inductionsströme und diese ihrerseits wieder den Magnetismus, bis endlich die Eisenkerne der Elektromagnete sich nahezu im Zustande der magnetischen Sättigung befinden; im letzteren Falle hat aber auch die Stärke der Inductionsströme ihren höchsten Wert erreicht.

Die nach diesem Principe construierten Maschinen bezeichnet man als dynamoelektrische (Dynamo- oder Kraft-) Maschinen. Bei

denselben wird zum Unterschiede von den magnetelektrischen Maschinen das magnetische Feld erst geschaffen oder erregt.

Je nach der Art und Form der Bestandtheile solcher Maschinen, sowie nach der Schaltungs- bezw. Erregungsweise kann man verschiedene Typen unterscheiden, von welchen die principiell wichtigsten hier angeführt werden sollen.

A. Nach der Art der Armaturbewicklung lassen sich die gegenwärtig am meisten angewendeten Gleichstrommaschinen untertheilen in:

a) Dynamomaschinen mit Ringanker.

Der auf eine Welle gesetzte Inductor besteht aus einem mit isoliertem Draht bewickelten Ringe aus weichem Eisen, welch' letzterer in der Wellenrichtung bedeutend verlängert (Cylinderring) oder in der zur Welle senkrechten Richtung verbreitert (Flachring), wieder Modificationen dieser Maschinentype gibt. Der Ringanker ist zuerst von Paccinotti (1860) und später von Gramme (1871) erfunden worden.

b) Dynamomaschinen mit Cylinder- oder Trommelinductor. Bei diesen Maschinen besteht der Inductor aus einem eisernen Cylinder oder einer Trommel, auf deren Umfang der inducierte Draht, u. zw. parallel zu den Erzeugenden des Cylinders gewickelt ist. Der Typus dieser Maschinen ist jener von Siemens & Halske (bezw. von Hefner-Alteneck 1872).

c) Maschinen mit Scheibenanker. Hier sind die Spulen auf dem Umfange einer Scheibe angeordnet.

Außer diesen vorangeführten, in verschiedenen Variationen vorkommenden principiellen Ankerformen gibt es noch andere, seltener vorkommende Armaturconstructionen, wie z. B. die Polanker, Anker mit offenen Spulen, Anker ohne Commutator u. s. w., deren detaillierte Anführung hier übergangen werden soll.

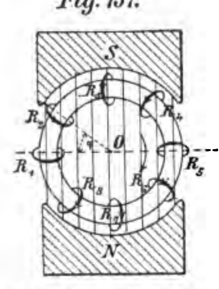
Im Nachfolgenden sollen hauptsächlichst die unter *a*) und *b*) angeführten Typen, u. zw. zuerst für zweipolige Maschinen näher betrachtet werden.

2. Princip der Maschinen mit Ringanker.

Es sei in der Fig. 137 ein zweipoliges, gleichförmig magnetisches Feld SN angenommen, in dem sich ein Holzring befindet, auf welchem ein Ring R in der Richtung des Pfeiles mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit sich bewegt.

Bei dieser Bewegung werden im Ringe R Inductionsströme erzeugt, die eine verschiedene Richtung und verschiedene Intensität besitzen.

Fig. 137.

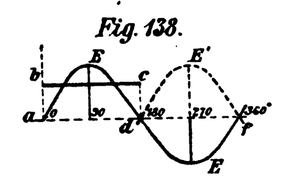


Beginnt man mit der Bewegung des Ringes in der Stellung R_1, also bei 0°, so erkennt man sofort, dass auf dem ganzen Wege von R_1 bis R_3, d. i. um einen Winkel von 0° bis 90°, die Zahl der durch die Ringfläche gehenden Kraftlinien abnimmt, mithin in dem Ringe ein directer Strom entsteht. Bei der Weiterdrehung des Ringes von 90° bis 180°, also von der Stellung R_3 bis R_5, erfolgt eine Zunahme der Zahl der die Ringfläche durchdringenden Kraftlinien; es wird daher ein inverser Strom entstehen. Von 180° bis 270° (R_5 bis R_7) erfolgt abermals eine Abnahme und zwischen 270° und 360° (R_7 bis R_1) eine Zunahme der Kraftlinienzahl. Dementsprechend ergibt sich auch die in der Fig. 137 für die Stellungen R_1 bis R_8 gezeichnete Stromrichtung.

Aus der Fig. 137 ersieht man, dass der Strom (oder vielmehr die Stromimpulse) beim Durchgange des Ringes durch die Stellung 0° und 180° (Stellung R_1 und R_5) seine Richtung oder sein Zeichen wechselt. Es sind dies offenbar jene Orte, an welchen die Zahl der durch die Windungsfläche hindurch tretenden Kraftlinien ihr Maximum erreicht.

Erfolgt nun die Bewegung des Drahtringes, wie vorausgesetzt, mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so ändert sich nicht nur die Richtung des Stromes, sondern auch die Größe der inducierten elektromotorischen Kraft von Stelle zu Stelle.

Um sich hierüber eine bildliche Vorstellung zu machen, braucht man nur auf einer Linie af (Fig. 138) die Weglängen aufzutragen, welche der Ring zurücklegt, und auf den Senkrechten die den einzelnen Stellungen (R_1 bis R_8) zugehörigen Werte der inducierten elektromotorischen Kraft (oder aber für die Darstellung der Stromwerte die Werte der Stärke der Stromimpulse).



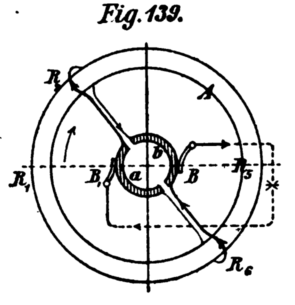
Man bekommt dann durch die Verbindung der Endpunkte eine Linie $aEdEf$, welche den Verlauf der elektromotorischen Kraft (oder analog den des Inductionsstromes) darstellt. Diese Linie erscheint in der Fig. 138 als eine Wellen- (Sinus-) Linie, weil, wie theoretisch nachgewiesen werden kann, die elektromotorische Kraft und damit bei gegebenem Widerstande der Ankerspule, auch die Stromstärke sich mit dem Sinus des Drehwinkels φ, (Fig. 137), ändert.

Aus der Fig. 138 ergibt sich, dass die elektromotorische Kraft E zuerst zunimmt, dann abnimmt, hierauf gegen ein negatives Maximum schreitet, um sodann wieder abzunehmen. Die Fortsetzung der Drehung über 360° würde eine Wiederholung des Bildes der Fig. 138 liefern. Diese Figur zeigt sonach den Verlauf eines innerhalb eines gewissen Zeitintervalles (Weglänge) seine Richtung und Intensität wechselnden Stromes, oder eines sogenannten „Wechselstromes".

Die Größe der solchergestalt periodisch veränderlichen, elektromotorischen Kraft, welche sich aus der Gesammtänderung der Kraftlinien während der ganzen Bewegung von 0° bis 180° ergibt, wird:

$$E = 2\,F H$$

sein, wenn F die Fläche des Ringes und H die Intensität des Feldes oder die Zahl der Kraftlinien pro Flächeneinheit bezeichnet, welche in jedem Augenblicke die Ringfläche durchsetzt. Um nun zu erreichen, dass der im Ringe seine Richtung ändernde Strom in einem äußeren Leiterkreise stets dieselbe Richtung beibehält, also um den Wechselstrom in einen gleichgerichteten Strom zu verwandeln, bedient man sich einer einfachen Vorrichtung, d. i. eines sogenannten zweitheiligen Stromwenders (oder Commutators). Hiezu verbindet man nach Fig. 139 den Holzring A durch Speichen mit der Rotationsaxe und setzt auf diese Axe zwei von einander isolirte Metallstücke $a\,b$, mit welchen die Enden des Ringes R_1 (oder mehrerer hintereinander geschalteter, eine Spule bildender Ringe) in der in Fig. 139, 140 gezeichneten Weise verbunden sind. In den Lagen R_1 und R_5 schleifen weiters



an dem Commutator zwei, diesen tangirende Federn oder Bürsten B B_1, die mit dem äußeren Stromkreise L fix verbunden werden.

Bewegt sich nun der Holzring A mit der Spule R und dem Commutator $a\,b$ in der Richtung des Pfeiles, während die Federn B B_1 fix bleiben, so wirkt, weil mit dem Stromwechsel gleichzeitig die Bürsten von einem Halbring auf den anderen übergehen, die inducierte, elektromotorische Kraft im äußeren Leiterkreise L stets in demselben Sinne, d. h. es fließt immer von der einen Bürste B ein Strom ab, um durch L zur anderen Bürste B_1 zurückzukehren. Der Strom verläuft also im äußeren, d. i. in dem zwischen den Bürsten B B_1 liegenden Stromkreise stets in derselben Richtung.

Fig. 140.

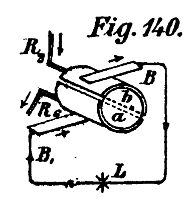
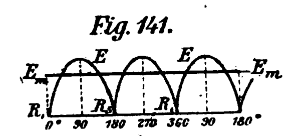


Fig. 141.



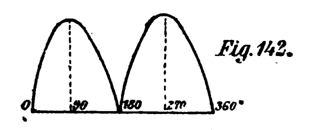
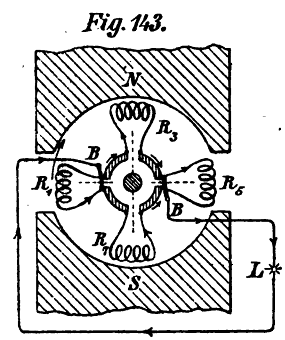


Fig. 142.

In dem Momente aber, wo der Drahtring (oder die Spule) die Lage 0° und 180° (d. i. die Stellung R_1 und R_5) passiert, ist die Spule in sich selbst oder „kurz geschlossen". Hier findet keine Induction statt, weil der Leiterring parallel zu den Kraftlinien sich bewegt. Man bezeichnet diese letztere Lage als „neutrale Zone".

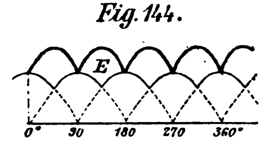
Bei fortgesetzter Drehung des Ringes würde man nach vorstehender Erörterung, eine Reihe stets in gleichem Sinne verlaufender Stromimpulse E bekommen, deren Gesammtverlauf die obenstehende, bildliche Darstellung Fig. 141 zeigt.

Fig. 143.



Verbindet man nun mit dem zweitheiligen Commutator nach Fig. 139 zwei auf dem Holzringe gegenüber liegende Ringe (oder Spulen) R_2 R_6, so wird bei der Bewegung des ganzen Systems, gleichzeitig mit dem Ringe R_2, auch in dem Ringe R_6 eine elektromotorische Kraft induciert, welche in Bezug auf den äußeren Stromkreis in demselben Sinne wirkt, wie jene von R_2. Man hat jetzt zwei parallel geschaltete Ringe (oder Spulen) R_2 R_6 und bekommt sonach im äußeren Stromkreise einen stärkeren Strom, als jenen, welcher der einfachen Spule R_2 entspricht. Der elektrische Druck ist wohl derselbe geblieben, der Widerstand ist jetzt aber nur halb so groß, als jener einer Spule, und infolge dessen ist die Stromintensität (Fig. 142) doppelt so groß wie früher. Die Spulen verhalten sich wie zwei auf Quantität verbundene, galvanische Elemente.

Fig. 144.



Lasst man statt eines Ring-, bezw. Spulenpaares deren zwei, d. s. also vier Spulen, R_1 R_3 R_5 R_7, (Fig. 143), welche um 90° von einander entfernt und untereinander durch einen jetzt viertheiligen Commutator verbunden sind, im magnetischen Felde rotieren, so wird man zwei Wellenlinien E (Fig. 144) bekommen und es wird das eine Paar R_3 R_7 das Maximum

der Intensität dann erreichen, wenn das andere Paar R_1 R_3 inductionsfrei ist. Man sieht ferner aus der Fig. 143, dass die in einem Spulenpaare R_1 R_3 zu einer bestimmten Zeit inducierten elektromotorischen Kräfte ihren Weg durch die benachbarte Spule und durch den äußeren Stromkreis L nehmen, sonach die in den benachbarten Spulen erzeugten, elektromotorischen Kräfte sich addieren.

Die bildliche Darstellung des Verlaufes der elektromotorischen Kräfte (Fig. 144) zeigt, dass bei der Anordnung von vier Spulen die elektromotorische Kraft E in keinem Augenblicke Null ist, und dass ihr nunmehriger kleinster Wert gleich dem größten Werte jener elektromotorischen Kraft ist, welche bei einer zweispuligen Anordnung erzeugt wird. Es addieren sich also die in jedem Momente durch die Ordinaten dargestellten, elektromotorischen Kräfte E_1 und E_3 in Bezug auf den gesammten Stromkreis. Hiemit sind auch die Schwankungen der elektromotorischen Kraft auf die Hälfte gebracht.

Man kann nun durch fortgesetzte Vermehrung der Spulenpaare, bezw. mit dieser durch die Theilung des Commutators (Fig. 145), die periodischen Schwankungen der in den verschiedenen Bewegungsphasen inducierten, gesammten elektromotorischen Kräfte E immer geringer werden lassen und erhält

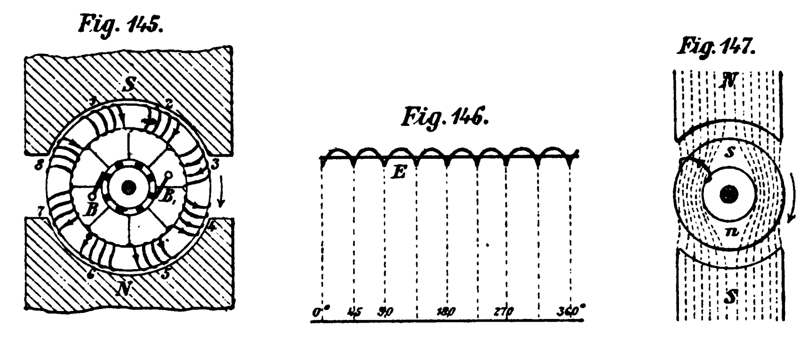


Fig. 145. Fig. 146. Fig. 147.

schließlich eine elektromotorische Gesammtkraft, welche kaum noch merkliche Schwankungen zeigt, so dass für eine sehr große Spulenzahl die vorstehende Fig. 146 das Bild des Verlaufes der elektromotorischen Gesammtkraft E gibt. Nach der Fig. 146 erhält man als solche eine nahezu gerade Linie.

Wickelt man den Ring (oder die Spulen), statt auf einen Holzring, auf einen Eisenring (Fig. 147), der zuerst als stillstehend betrachtet werden soll, so wird die Beschaffenheit des gleichförmig magnetischen Feldes wesentlich geändert. Fast alle Kraftlinien gehen durch den Eisenkern hindurch, weil dieser mehr Kraftlinien als die Luft aufnimmt, und es wird daher die mittlere, elektromotorische Kraft, infolge der größeren Differenz der Kraftlinien zwischen der Anfangs- und Endlage (0 und 90°) bedeutend größer sein, wie im gleichförmig magnetischen Felde.

Wird nun die Bewicklung mit dem Eisenkerne fest verbunden und nimmt derselbe an der Rotation theil, so ändert sich die Polarität des im Eisenkerne hervorgerufenen Magnetismus nicht, die magnetischen Pole n s (Fig. 147) befinden sich aber immer an anderen Stellen des Ringes. In Bezug auf die räumliche Anordnung behalten aber die

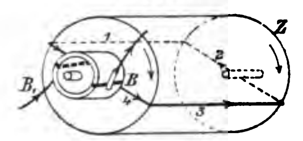
Pole $n\,s$ stets ihre Lage bei, und es werden daher, trotz der fortwährenden Änderung des magnetischen Zustandes die Inductionsströme genau so verlaufen, als wenn der Eisenring still stehen würde und sich nur die Spulen auf ihm bewegen würden.

Ein solcher mit einer Reihe von Spulen (1 bis 8, Fig. 145) bedeckter und im magnetischen Felde rotierender Eisenring heißt nun ein „Ringanker“ (Ringinductor, auch Gramme'scher Ring). Die Spulen bilden bei demselben unter Vermittlung der Segmente des Collectors, an welchen ihre Drahtenden angeschlossen werden, eine einzige, zusammenhängende Spirale, welche durch die Bürsten $B\,B_1$, in zwei symmetrisch zu den Kraftlinien des Feldes gelegene Hälften getheilt wird. Die von den Spulen gelieferten, am Collector gesammelten Ströme sind annähernd constant, wenn die Zahl der Collectorstreifen eine gewisse, praktisch ermittelte Größe erreicht hat.

3. Princip der Maschinen mit Trommelanker.

Beim Trommelanker (Fig 148) wird der Wicklungsdraht knäuelartig auf eine eiserne Trommel Z, u. zw. parallel zu der Trommelaxe gewickelt; auch werden die Enden der Wicklungsdrähte, wie beim Ringanker, mit den Contactstücken eines vieltheiligen Collectors verbunden, so dass sämmtliche Windungen wieder eine einzige Spirale bilden, welche durch die Bürsten in zwei parallel geschaltete Hälften getheilt wird.

Fig. 148.



Um über den Verlauf der Inductionsströme, beim Trommelanker eine Vorstellung zu bekommen, sei in den Figuren 148 und 149 ein auf einer Holztrommel aufgewickeltes Drahtviereck 1, 2, 3, 4 angenommen, dessen Ebene mit der Schnittebene des zweitheiligen Commutators (Fig. 148) zusammenfällt. Dreht man das Viereck wieder in einem gleichförmig magnetischen Felde NS (Fig. 149), so entstehen bei der durch den Pfeil angedeuteten Bewegungsrichtung, Inductionsströme im oberen und im unteren Leitertheile 1, 3, welche im Drahtvierecke in demselben Sinne verlaufen. Während nun bei der Anfangslage 0° das Maximum der Kraftlinien durch die Leiterfläche geht, ist der Leiter bei 90° den Kraftlinien parallel; sonach steigt die Induction von Null wieder bis zum Maximum (d. i. bei der Lage 90°), nimmt hierauf ab, um bei der Lage 180° wieder Null zu werden.

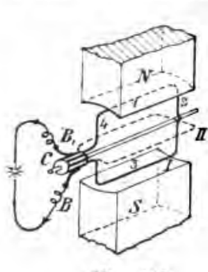


Fig. 149.

Von 180° an kehrt sich die Richtung des Stromes um.

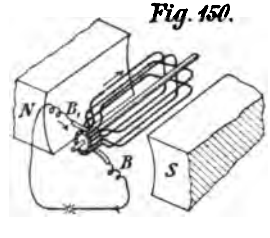
Der Verlauf der Induction, bezw. der elektromotorischen Kraft ist also genau derselbe, wie beim Kreisringe. Ebenso ist in der Lage 0° und 360° auch die Stromintensität Null, bei 90° und 270° aber ein Maximum. Der Strom variiert periodisch mit dem Sinus des Winkels, welchen die Drahtebene mit der Anfangslage 0° bildet.

Man erhält hier also ebenfalls Wechselströme, welche durch einen zweitheiligen Collector im äußeren Stromkreise in Gleichströme verwandelt werden können. Dieselben werden durch die Bürsten $B\,B_1$ nach außen abgeleitet.

Nimmt man in Fig. 149 zwei zu einander senkrecht stehende Drahtvierecke I, II an, so addieren sich die erzeugten, elektromotorischen Kräfte, ähnlich wie beim Ringanker.

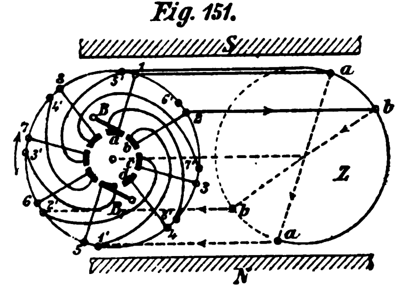
Verbindet man bei mehreren Drahtvierecken (Fig. 150) allgemein das Ende des vorhergehenden und den Anfang des folgenden Drahtviereckes mit je einem Metallstücke des Stromsammlers (Collectors), jedoch so, dass der Anfang und das Ende eines und desselben Drahtviereckes in zwei benachbarten Metallstücken endigt (Fig. 151), so ist der Verlauf der Inductionsströme in der Trommel genau derselbe, wie beim Gramme'schen Ringe, d. h. man bekommt im äußeren Stromkreise ebenfalls einen gleichgerichteten Strom.

Fig. 150.



In nebenstehender Fig. 151 ist ein Beispiel der Drahtverbindungen eines achttheiligen Collectors mit acht Spulen gezeichnet. Hiebei bezeichnen *a* 1 *a* 1' *b*, *b* 2 *b* 2' *c* u. s. w. die Drahtvierecke der Reihe nach. Da die Drahtenden auf der vorderen Seite rechtwinkelig eingebogen werden, erscheinen die Bürsten BB_1 um 90° gegen die neutrale Zone verschoben.

Fig. 151.



Vertauscht man die Holz- mit einer Eisentrommel aus isolierten Scheiben, so verstärkt diese die inducierende Wirkung des magnetischen Feldes, wie beim Ringanker.

Die Trommelarmaturen haben vor dem Ringanker den Vortheil, dass wegen der großen Drahtlänge eine stärkere Inductionswirkung auf die Bewicklung stattfindet und es anderseits weniger Drahtstücke gibt, welche, ohne erregt zu werden, nur Widerstand darbieten, da die Trommel nur an der Außenfläche mit Draht belegt ist. Überdies ist die bewegte Masse größer und der Gang der Maschine dadurch gleichförmiger.

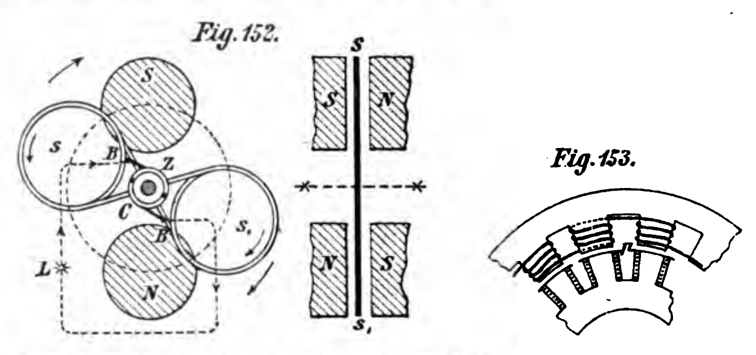
Als Nachtheile der Trommelanker ist die umständlichere Befestigung der Wicklung, schwierigere Auswechslung bei Reparaturen, geringere Ventilation und die höhere Spannungsdifferenz zwischen neben- und übereinander liegenden Drähten zu bezeichnen. Die Drähte sind mehr als beim Ringanker der Centrifugalkraft ausgesetzt, daher hier kleinere Geschwindigkeiten nothwendig sind. Jedoch ist die Eisenvertheilung und die Ausnützung der Kraftlinien eine günstigere, als bei der Ringarmatur.

4. Princip der Maschinen mit Scheibenanker.

Ordnet man die Spulen auf dem Umfange einer Scheibe derart an, dass die Spulenflächen bei ihrer Bewegung um eine zu den Kraftlinien parallele Axe die Kraftlinien senkrecht durchschneiden, so bekommt man einen Scheibenanker.

Fig. 152 stellt die einfachste Form eines Scheibenankers dar, bei welcher das Spulenpaar ss_1 um die Axe Z rotierend bewegt wird; S und N bedeuten

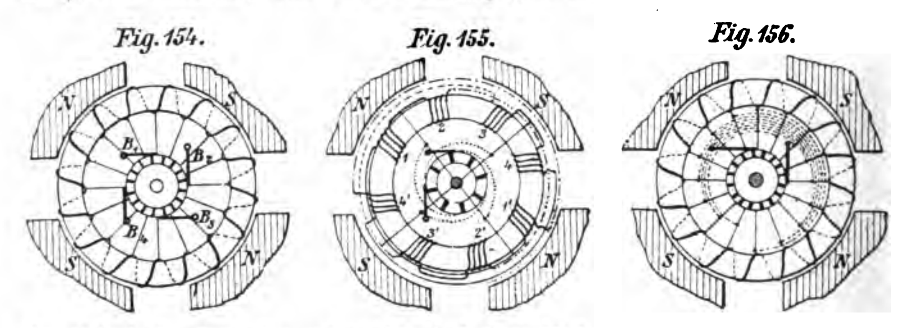
zwei Magnetpole. Der Anfang und das Ende der hintereinander zu schaltenden Spulen sind mit den Segmenten C eines zweitheiligen Commutators, die schleifenden Bürsten B mit dem äußeren Stromkreise L verbunden. Der Zeichenwechsel tritt in dem Momente ein, in welchem die Axe der Spulen mit der Axe der zwei gegenüber liegenden Magnetpole zusammenfällt. Bei mehreren Spulen können durch einen mehrtheiligen Collector ebenfalls wieder stärkere, gleichgerichtete Ströme erzeugt werden. Man wendet Scheibenanker in neuerer Zeit meist für mehrpolige Maschinen, u. zw. ohne Eisenkern an.



Man kann die Spulen jedoch auch nach Fig. 153 auf den Mantel eines Hohlcylinders, eventuell an Vorsprüngen p desselben (Pol-Armature) aufwickeln.

5. Die Ankerbewicklung in vielpoligen Maschinen.

Bei großer elektrischer Leistung hat der Bau zweipoliger Maschinen eine constructive Grenze, und man hat daher versucht, durch Parallelschaltung von zweipoligen Maschinen (welche in einer einzigen Construction vereint sind), eine Lieferung von großen Strommengen zu erzeugen; dies wird z. B.



für elektrische Centralen gebraucht. Auf diese Weise sind die mehrpoligen Maschinen mit Parallelschaltung entstanden. Letztere Schaltung bewirkt selbstverständlich nur eine Erhöhung der zulässigen Stromstärke, nicht aber jene der elektromotorischen Kraft. Will man letztere anstreben, so muss man bei den mehrpoligen Maschinen eine Hintereinanderschaltung der Ankerwicklungen anwenden.

a) Bei dem Ringanker mit Parallelschaltung, wie solcher z. B. bei der in Fig. 154 angedeuteten vierpoligen Maschine [1]) vorkommt, resultieren vier gleichwertige Spulengruppen; sonach müssen auch vier Bürsten vorhanden sein. Um die Bürstenzahl zu verringern, kann man, wie bei der Anordnung in Fig. 156, diejenigen Theile des Ankers miteinander verbinden, welche gleiche elektromotorische Kraft haben. (Mordey'sche Schaltung.)

Diese Verbindung kann an den Ankerdrähten oder an den Collectorsegmenten bewirkt werden. Es liegen dann nur mehr zwei Bürsten am Collector an, welche einen Winkel von 90° bilden.

b) Beim Ringanker mit Reihenschaltung (Fig. 155) ist das Stromlaufschema dasselbe, wie jenes der zweipoligen Maschinen; es entsprechen demgemäß hier nur zwei Bürsten. Es werden nämlich zwei, im gleichnamigen Felde gleichwertig inducierte Spulen, z. B. 1—1', 2—2', . . . hintereinander geschaltet. Man bekommt dann zwei gleichwertige Leiterabtheilungen mit zwei um 90° versetzte Bürsten.

Fig. 157.

In ähnlicher Weise wie die Ringanker werden auch die Trommelanker gewickelt; nur muss die Spulenzahl ein Vielfaches der halben Polzahl sein.

c) Hinsichtlich der mehrpoligen Trommelanker mit Parallel- oder Reihenschaltung gelten die gleichen Grundsätze wie die vorentwickelten.

Fig. 157 stellt beispielsweise das Wicklungsschema einer Oerlikon-Trommel mit Mordey-Schaltung dar. Der Stromverlauf ist leicht aus der Fig. 157 zu entnehmen.

6. Schaltweisen.

Nach der Schaltungsweise des Ankers mit der Magnetbewicklung und dem äußeren Stromkreise kann man ebenfalls verschiedene Formen von selbsterregenden Maschinen unterscheiden, u. zw.:

Fig. 158.

a) Hauptstrommaschinen (gewöhnliche, auch Serienmaschinen genannt). Bei diesen ist die Magnetbewicklung *M* (Figuren 158 und 159) mit dem Anker *A* und dem äußeren oder nutzbaren Stromkreise *L* (Fig. 159) hintereinander geschaltet. Fig. 159 stellt die schematische Darstellung einer zweipoligen Hauptstrommaschine dar. Der elektrische Strom geht von der positiven Bürste ($+B$) in die Magnetschenkel *M*, führt über die Polklemme $+p$ und den äußeren Stromkreis *L* zur negativen Bürste B_1 und von da zurück in die Armaturbewicklung *A*. Die Magnetbewicklung *M* enthält bei diesen Maschinen einen dicken Draht, u. zw. einerseits um den Leitungswiderstand und damit die innere Arbeit möglichst klein zu machen, anderseits,

[1]) Hiezu gehören auch die Innenpolmaschinen mit Ringanker (Fig. 189).



weil der ganze von der Maschine geleistete Strom durch die Magnetbewicklung hindurchgeht (daher die Benennung „Hauptstrommaschine"). Bei offenem Stromkreise kann diese Maschine, weil unterbrochen, keine Erregung geben.

Fig. 159.

Die Polarität der Hauptstrommaschine ist umkehrbar, d. h. wenn im äußeren Stromkreise elektromotorische Gegenkräfte (z. B. Accumulatoren etc.) vorhanden sind, kann untre Umständen der Strom vom äußeren Stromkreis in die Maschine gesendet werden, wodurch mit der Stromumkehrung auch die Pol-Lage (NS) der Elektromagnete wechselt. Hiebei läuft die Dynamo als Motor und es wird die Bewegungsrichtung des Ankers die entgegengesetzte, wie früher, sein. Würde eine solche „umpolarisierte" Dynamo später wieder in Betrieb gesetzt werden, so würde sie einen Strom liefern, welcher eine dem früheren Strom entgegengesetzte Richtung hätte [1]).

b) Nebenschlussmaschinen. Bei diesen liegt die Elektromagnetbewicklung M (Fig. 160) im Nebenschluss zum äußeren Stromkreis. Der durch die Armatur A gelieferte Strom theilt sich (nach Fig. 161) an den Klemmen $p p_1$ in der Weise, dass der größere Theilstrom durch die äußere Leitung L, und der kleinere Theilstrom durch die vielen Windungen dünnen Drahtes der Elektromagnet-Bewicklung M geht. Letztere liegt im Nebenschluss zum äußeren Stromkreis.

Fig. 160.

Fig. 161.

Es ist leicht einzusehen, dass die Richtung des Stromes in der Magnetbewicklung ganz unabhängig von der Richtung des äußeren Stromes sein kann und dass eine zufällige Umkehrung des letzteren (Rückstromes) keinen Polwechsel der Magnetkerne bewirken wird, wie dies zuvor bei der Hauptstrommaschine angedeutet worden ist [2]).

Beim Rückstrom wird der Anker stets mit den Bürsten laufen und wird das Bestreben haben, den die Dynamo antreibenden Motor zu unterstützen. (Gegensatz von der Seriendynamo). Wird die elektromotorische Kraft der Dynamo hiedurch erhöht, so werden die Accumulatoren weiter geladen. Bei der Seriendynamo ist, wenn einmal der Polwechsel vorgekommen, das Weiterladen der Accumulatoren bei erhöhter elektromotorischer Kraft der Maschine nur dann möglich, wenn die Pole in der Leitung gewechselt werden.

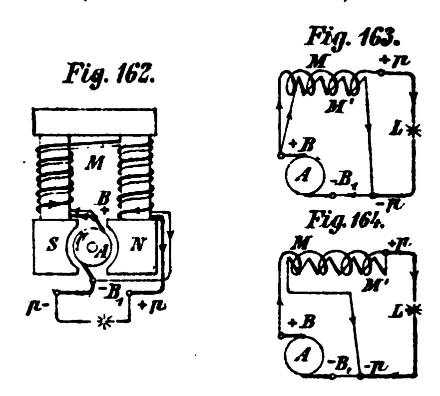
c) Compoundmaschinen oder Maschinen mit gemischter Bewicklung. Dies sind solche Maschinen, bei welchen die Elektromagnetbewicklungen aus zwei Drahtbewicklungen $M M^1$ (Fig. 163) bestehen, von

---

[1]) Beim Laden von Accumulatoren (siehe dieses) ist in dieser Hinsicht die Vorsicht zu gebrauchen, einen Rückstrom zu vermeiden. Hat eine Umpolarisierung stattgefunden und bleibt die Maschine zugeschaltet, so entladen sich die Accumulatoren in die Dynamo und es sind sodann Maschine und Accumulatoren hintereinander geschaltet, was schädlich ist.

[2]) Durch den Rückstrom ändert sich blos die Stromrichtung im Anker.

welchen die dickere (Hauptschlussbewicklung) *M* mit dem äußeren Stromkreis *L* in Hintereinanderschaltung, die dünnere (Nebenschlussbewicklung) M^1 im Nebenschluss hiezu sich befindet. Je nachdem nun die dünne Magnetwicklung M^1 mit ihren Enden an den äußeren Stromkreis und zu diesem parallel geschaltet ist (Fig. 164), oder aber an die Bürsten direct angelegt wird (Fig. 163) und somit parallel zur Hauptstrombewicklung und dem äußeren Stromkreise *L* ist, unterscheidet man wieder Compoundmaschinen mit langem, und solche mit kurzem Nebenschluss. Die Compoundmaschinen werden für eine constante Spannungsdifferenz an den Maschinenklemmen (Gleichspannungsmaschinen), oder für constante Stromstärke im äußeren Stromkreise gebaut.



7. Formen der Feldmagnete.

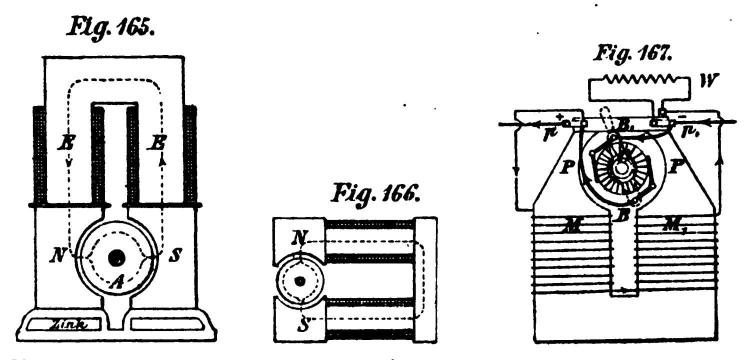
Nach den Formen der Feldmagnete können unterschieden werden:

1. Zweipolige Maschinen: *a*) mit einfachem Hufeisen, *b*) mit Doppelmagnet und Folgepolen, und *c*) die Eisenrückschlusstype, ferner

2. Mehrpolige Maschinen: *a*) mit Folgepoltypus, *b*) mit Eisenrückschluss und *c*) mit gesondertem Hufeisen, endlich

3. Innenpolmaschinen.

Als Beispiele sollen in den nachfolgenden Figuren die markantesten Maschinen-Typen hervorgehoben werden.



Es sind dies:

ad 1. *a*) das Edison-Hopkinson-Modell (Fig. 165); dasselbe besitzt aufrecht stehende, cylindrische Magnetschenkel *E*, welche mit kräftigen Polschuhen *NS* versehen und durch ein derbes Gusstück vereinigt sind. Die Polschuhe stehen auf starken Platten aus Zinkguss.

Die liegende Anordnung des Hufeisens zeigt die Fig. 166. Ebenso zeigt die Fig. 167 die gegenwärtig häufig angewendete Anordnung mit um-

gekehrtem Hufeisen und abgeschrägten Polstücken (Typ Siemens & Halske). Um an Wicklungsdraht zu ersparen, hat man statt zwei Schenkelbewicklungen auch nur eine (wie z. B. in Fig. 168) angewendet und hat dieselben auf dem Joche aufgebracht. Die Schenkel sind zu Polstücken ausgebildet.

ad 1. *b*) Dieser Typus ist der älteste. Bei demselben stoßen zwei Hufeisen mit gleichnamigen Polen zusammen.

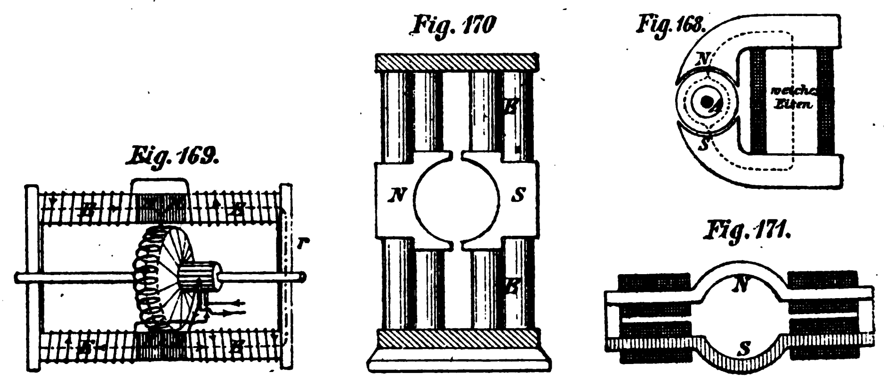


Fig. 169. Fig. 170. Fig. 168. Fig. 171.

Die Fig. 169 zeigt den Typus von Gramme. Die beiden Ständer *T* werden durch die beiden Schenkel *E* miteinander verbunden. Je zwei der nebeneinander liegenden Schenkel gehören zusammen und tragen in der Mitte einen gemeinschaftlichen Polschuh *NS*.

Fig. 170 stellt eine Anordnung mit aufrechtstehenden Schenkeln *E* (Colonnenmagnete) dar.

Beim Schuckert'schen Typ, Fig. 186 auf Seite 113, stoßen die gleichnamig magnetisierten Pole *NN* nicht unmittelbar zusammen. Der ideelle Folgepol bildet sich im Innern des Ringeisens.

Die Siemens-Type, Modell *D* (Fig. 171), hat vier stehende, aus Schmiedeeisenbarren gebildete Schenkel, welche durch die Polschuhe *NS* zusammenhängen.

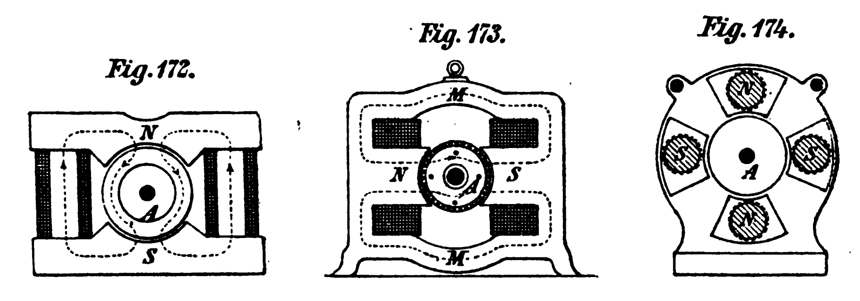


Fig. 172. Fig. 173. Fig. 174.

Die Manchester-Type (Fig. 172) hat kurze, schmiedeeiserne Kerne, welche in gusseiserne Polschuhe *NS* einmünden. Der untere Polschuh dient als Grundplatte.

ad 1. *c*) Aus der Zusammenlegung zweier Hufeisenformen entsteht die Eisenrückschlusstype (Fig. 173), in welcher *NS* die Feldmagnete und *M* die Eisenrückschlusstücke darstellen, welche mit den Feldmagneten ein untrenn-

bares Gusstück bilden. Durch diese findet der Rückschluss der Kraftlinien statt und damit ist im magnetischen Kreislaufe keine Trennungsfuge, folglich auch weniger Widerstand vorhanden.

ad 2. *a*) Beim Schuckert'schen Typ (Fig. 174) sind in die zwei Seitenrahmen schmiedeeiserne Kerne NS verschraubt. Dieselben tragen ringförmige Pollappen, welche auf beiden Seiten des Flachringes stehen. Die Kerne sind derart bewickelt, dass die einander gegenüberstehenden Kerne gleiche Polarität zeigen.

ad 2. *b*) Bei der in Fig. 175 dargestellten Type für große Maschinen ist ein achteckiger Rahmen mit acht Schenkel versehen vorhanden, welche in Form eines Doppelkreuzes angeordnet sind. Je zwei benachbarte, im Winkel zusammenstoßende Schenkel sind durch einen gemeinsamen Polschuh vereint.

Fig. 175.

Fig. 176.

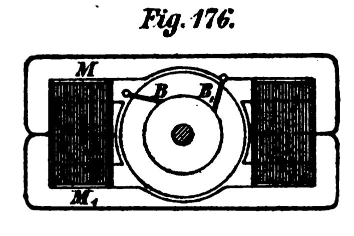
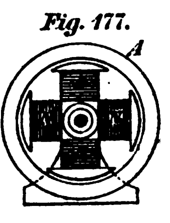


Fig. 177.



Man erhält dergestalt vier abwechselnde Polschuhe, zwischen welchen der Anker rotiert. In der Type Fig. 176 sind die beiden Pole (links und rechts) durch je eine Spule erzeugt, während in den oberen und unteren Aussparungen des Rückschlusses indirecte Folgepole gebildet werden. Das Eisengestell ist aus zwei scharf gebogenen Schmiedeeisenbarren M_1 M_1 gebildet.

ad 3. Bei den Innenpolmaschinen läuft der Anker außen um die Pole. Die Feldmagnete befinden sich im Innern der Maschine. Als Beispiel ist schematisch in Fig. 177 die Type von Siemens & Halske dargestellt.

Die Feldmagnete NS werden aus vier einzelnen Schenkeln gebildet, welche mit ihren Enden zusammengegossen sind. Die anderen Enden tragen Polschuhe; A deutet den Ring an. Die einzelnen Schenkel tragen Erregerspulen, welche so gewickelt sind, dass abwechselnde Pole an den äußeren Enden der Schenkel entstehen. Nach diesem Principe lassen sich 6-, 8- und 10polige Maschinen bauen.

8. Constructions-Bedingungen.

Es gibt gegenwärtig eine große Menge von Dynamomaschinen-Constructionen, welche jedoch alle gewissen, durch die Praxis ermittelten Bedingungen genügen müssen. Diese Bedingungen betreffen:

a) Die Armatur. Die Eisenkerne der Anker sind entweder aus Eisenscheiben, Eisenbändern oder aus Draht gebildet, wobei erstere von einander durch einen Lackanstrich oder Asphaltüberzug, dünnes Papier u. dgl. m. isoliert werden. Die Scheiben werden durch Längsbolzen zusammengehalten und manchmal entsprechend gestanzt (Nuthenanker, Lochanker). Als Eisenmaterial wird

reines und weiches Eisen genommen. Die Ankereisen werden auf den Dynamowellen entweder directe aufgebaut oder durch seitliche Laschen und Kreuze entsprechend befestigt. Sie werden sorgfältig sowohl von den Wellen als auch von ihrer Bewicklung durch Presspan, Leinwand, mit Schellack getränkte Isolierbänder u. dgl. m. isoliert. Sie müssen gut ausbalanciert werden.

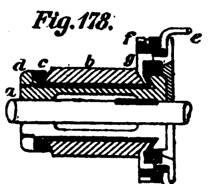
Die auf die Eisenkerne aufzubringende Drahtbewicklung besteht fast ausschließlich aus isoliertem Kupferdraht, Stäben oder Bändern [1]) von größter Leitungsfähigkeit und wird neuerer Zeit häufig in das Ankereisen gelegt; dadurch erhält man sogenannte „Loch-“, dann „Nuthenanker“.

Der Querschnitt, die Länge und Vertheilung der Wicklung richtet sich nach dem Zwecke und nach der Größe der Dynamomaschine. Der Querschnitt wird durch die zulässige Erwärmung bestimmt und ist vom Isolationsmittel des Drahtes (meist schellackierte Baumwollbespinnung) abhängig. Gewöhnlich gestattet man als zulässige Erwärmung nur eine Temperaturzunahme von 30—40° C. über der mittleren Temperatur (25—30°), sonach im totalen von 60—70° C. Die Stromdichte, welche von den Ventilations- und Abkühlungsverhältnissen des Ankers abhängig ist, variiert sehr und beträgt 2 bis 7 Ampère pro mm^2 Querschnitt. Entsprechend der Stromstärke wird der Wicklungsdraht gewöhnlich eine runde, bei größeren Stromstärken und bei mehrpoligen Maschinen eine rechteckige oder keilförmige Querschnittsform erhalten. Die Spannungsdifferenz zwischen zwei nebeneinander befindlichen Spulen soll 20 Volt nicht überschreiten; sie schwankt aber wesentlich bei verschiedenen Maschinen-Constructionen.

Die Zahl der Spulen und damit auch jene der Collectorlamellen soll möglichst groß sein; doch ergibt sich durch letzteren Umstand wieder eine geringere Breite der Lamellen und damit eine schwierigere Befestigung derselben. Man hat auch versucht, die Spulen gesondert auf die Kerne aufzubringen. Die Verbindung der Spulenenden mit den Collectorlamellen soll stets eine solide sein.

b) Der Collector oder Stromsammler.

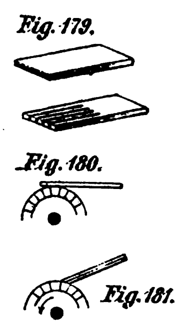
Der aus gegossenen und von einander isolierten Metalltheilen bestehende Collector ist isoliert auf die Dynamowelle, u. zw. meist durch Vermittlung einer entsprechenden Büchse (Figuren 178 und 184) aufgesetzt und mit dieser, sowie mit dem Anker entsprechend verbunden. Zumeist besteht die Isolierung der verschiedenartig gestalteten Lamellen von einander, als auch der Lamellen von der Welle aus Fibre-, Presspahn-, Pappe-, Glimmer-Einlagen, oder es wird Luft als Isoliermittel angewendet. Die Verbindung der Wicklungsdrähte mit den schwalbenschwanzförmig gestalteten Lamellen geschieht durch Verlöthen oder Verschrauben. Die Fig. 178 stellt z. B. einen Edison'schen Collector vor. *b* sind die Lamellen, *g* ein Ansatz derselben; mit dem Gusstück *f* sind die Ankerdrähte in *e* verlöthet, und der Spannring *d* hält die einzelnen Lamellen zusammen, welche auf der Büchse *a* isoliert aufsitzen.



c) Die als Stromabnehmer verwendeten, verschieden gestalteten und verstellbaren Bürstenarmaturen (Stromabnehmer) bestehen aus Kupfer- oder

[1]) Werden bei höheren Stromstärken angewendet.

Messingbürsten, u. zw. in der Form von zusammengelegten Blechen, Drähten, Litzen, Geweben, oder in Kohlebürsten (aus feinkörniger Kohle), welche je nach der Zahl der Bürsten, dann nach der angewendeten Stromstärke verschieden dimensioniert sind. Sie stehen entweder tangential oder schräge am Collector (Figuren 180 und 181).


Fig. 179. Fig. 180. Fig. 181.

Die Bürsten werden in eigenen Fassungen (Bürstenschuhen) von entsprechenden Vorrichtungen (Bürstenhalter) getragen, die wieder an entsprechenden Bolzen sitzen, welche isoliert in den sogenannten Bürstenträgern befestigt sind. Letztere gestatten durch geeignete Mechanismen (Schneckentriebe, Federwirkungen, Hebel etc.), sowohl die Verschiebung der Bürsten am Collectorumfange, als auch die Pressung der Bürsten an dem Collector, zu regulieren (Bürstenregulierung).

Bei größeren Maschinen wendet man zwei, drei und mehr Bürstenpaare an, wodurch der Vortheil erreicht ist, einzelne Bürsten unabhängig von den anderen und ohne Stromunterbrechung in der Maschine, auswechseln oder nachrichten zu können.

d) Die Feldmagnete sollen so construiert sein, dass mit möglichst wenig Ampèrewindungen ein kräftiger Magnetismus erregt werden kann. Für Maschinen mit constanter Spannung soll die Schenkelbewicklung stärker magnetisch als die Ankerbewicklung sein. Bei Maschinen mit constantem Strome ist der Einfluss des Ankers auf das Feld stärker. Man wählt Schmiedeeisen-, Gusstahl- oder Gusseisenkerne von verschiedener, zuvor bereits angeführter Formgebung.

Die ovalen, kreisförmigen oder rechteckigen Schenkel können für sich oder mit einander aus einem Stücke gegossen, oft auch aus blätterförmigem Eisen gebildet werden. In dem Falle, als die Kerne aus mehreren Stücken bestehen, müssen insbesondere die Verbindungsflächen der Schenkel mit den Rückenstücken (Jochen) gut aneinandergepresst sein, um den magnetischen Stromkreis in den Feldmagneten nicht durch eine Luftschichte zu unterbrechen und dergestalt einen Kraftlinienverlust herbeizuführen. Das Gleiche gilt auch von den an den Schenkeln angesetzten Polschuhen.

Die Polschuhe sollen die Anker theilweise und möglichst nahe umfassen, um den magnetischen Widerstand zu vermindern. Die Form der Polschuhe übt einen wesentlichen Einfluss auf die Güte der Maschine aus.

Die Magnetbewicklungen werden isoliert auf die Kerne unter Zuhilfenahme von Blechtrommeln aufgebracht. Der Querschnitt der Kupferdrähte dieser Bewicklungen, die Zahl der Windungen, die Profilierung und Isolation derselben, richtet sich — analog der Ankerbewicklung, — nach dem Zwecke und nach der Größe der Maschine.

Da auch in der Magnetbewicklung die von der magnetisierenden Kraft geleistete Arbeit sich theilweise in Wärme umsetzt, so erwärmen sich die Magnetspulen im Betriebe. Letztere Erwärmung soll nicht über handwarm gehen (50° C.) Hinsichtlich des Querschnittes der Schenkel sei noch bemerkt, dass derselbe bei Schmiedeeisen $1\frac{1}{2}$ bis $1\frac{3}{4}$, bei Gusseisen 2- bis 3mal so groß, als jener des Ankereisens ist. Ferner rechnet man etwa 10.000 bis 12.000 Kraftlinien pro m^2 des Eisenquerschnittes für die magnetisierende Kraft.

Darnach lässt sich der Querschnitt berechnen. Die Erfahrung gibt die Schenkellänge.

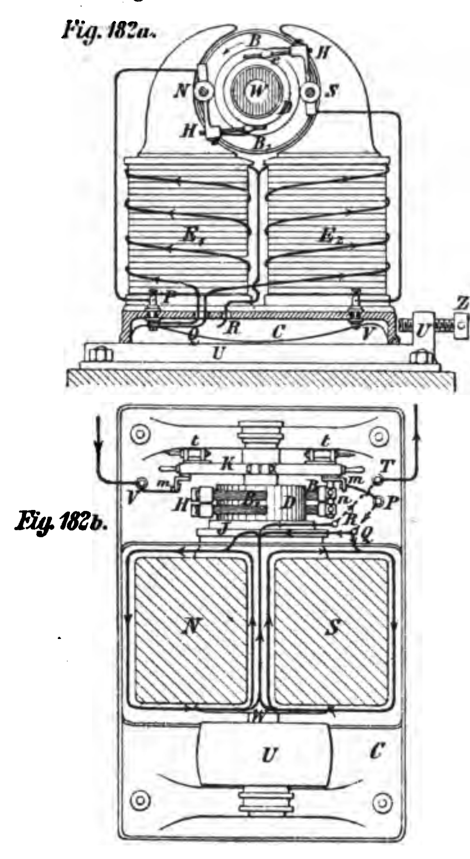


Fig. 182b.

e) Hinsichtlich der an die Dynamomaschinen - Constructionen gestellten mechanischen Anforderungen soll die Ankerbewicklung auf dem Ankereisen gleichmäßig vertheilt und symmetrisch zum magnetischen Felde liegen. Die Maschinenwelle mit dem adjustierten Anker, sowie überhaupt alle rotierenden Theile müssen infolge der großen Tourenzahl, welche bei den Dynamos meist vorkommt, gut ausbalanciert sein.

Gegen die Wirkung der Centrifugalkraft schützt man die Ankerbewicklungen durch Aufbringen von Bandagen, ferner gegen das Verschieben der einzelnen Spulen durch entsprechende Einlagen von Pressspan, Fibre u. dgl. m. Der Zwischenraum zwischen Ankeroberfläche und Polschuhfläche soll, wie erwähnt, möglichst gering sein.

9. Formen der Dynamomaschinen.

Von den in der Praxis vorkommenden Maschinentypen sollen hier nur einige, bei den Beleuchtungs-Apparaten in Anwendung befindliche Formen kurz beschrieben werden.

a) Als Beispiel einer zweipoligen Hauptstrommaschine mit Ringanker ist in den Figuren 182*a* bis 182*d* jene eines elektrischen Küstenbeleuchtungs-Apparates dargestellt. (Gramme-Type.)

Die Bestandtheile derselben sind: das Maschinengestelle mit zwei Verticalständern und einer Grundplatte *C*, die Armatur *J* und die Elektromagnete E_1 E_2.

Fig. 182c.

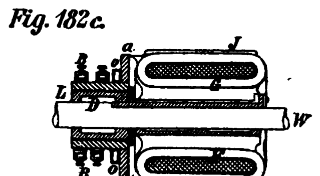
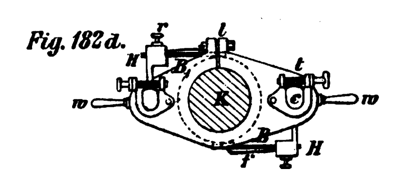


Fig. 182d.



Die Ständerlager sind abnehmbar gestaltet. Der auf einer Messingbüchse aufgeschobene, an der Welle *W* durch Schraube und Keil befestigte

Anker *J* (Fig. 182 *c*) ist ein Gramme'scher Inductor mit einem ringförmigen Eisenkern *F*, auf welchem die Kupferdrahtbewicklung *G* aufgebracht ist. Die Verbindung der Wicklungsdrahtenden mit dem an der Messingbüchse durch Angüsse isoliert befestigten Kupfercollector *D* geschieht durch Löthung der Drähte an den Segmenten *a*.

Auf der Ankerbewicklung sind weiters Bündel aus dünnem Messingdrahte isoliert aufgezogen. Ein Pressring *O* hält die Collectorsegmente zusammen, welche isoliert auf einer Büchse *L* sitzen, die auf der Welle *W* festgekeilt ist.

Die Stromabnahme erfolgt durch zwei Paare von Kupferdrahtbürsten BB_1, welche nach der Fig. 182 *d* in einem Schuh sich befinden und durch die Schraube *r* und ein Druckplättchen festgestellt werden. Der Bürstenhalter *H* sitzt auf den isoliert angebrachten Bolzen *n* (Fig. 182 *b*) des Bürstenträgers *K* und wird mittels Schrauben festgeklemmt. Für den Contact der Bürsten an dem Collector ist auf dem einen Ende des Bürstenträgerbolzens ein Schneckenradsegment *c* (Fig. 182 *c*) aufgekeilt, welches mittels des am Bürstenträger anmontierten Triebes *t* bethätigt werden kann. Hiedurch kann der Bürstenhalter und mit ihm die Bürste gedreht und letztere mehr oder weniger an den Collector angepresst oder ganz abgehoben werden.

Der Bürstenträger hat behufs seiner Drehung um die Welle *W* zwei Handhaben *ww* (Fig. 182 *d*) und kann durch die Flügelschraube *l* in jeder Stellung am Lager fixiert werden.

Die Verbindung der Bürsten BB_1 mit den Polklemmen *VT* (Fig. 182 *b*), welche isoliert auf der Grundplatte *C* aufsitzen, geschieht durch kurze Kabelstücke, deren oberes Ende in Muffen *m* steckt, die an den Bürstenträgerbolzen befestigt sind.

Die zwei Schenkel E_1 E_2 des magnetischen Feldes werden durch die Grundplatte *C* vereint und umfassen oben den Anker *J*. Die Kerne E_1 E_2 sind auf die Schenkelbewicklungen isoliert aufgebracht und werden durch einen Holzrahmen oben fixiert. Die Wicklungen dieser Elektromagnete sind an der Klemme *Q* parallel geschaltet und vereinigen sich wieder bei *R*.

Der Stromweg in der Dynamomaschine ist folgender:

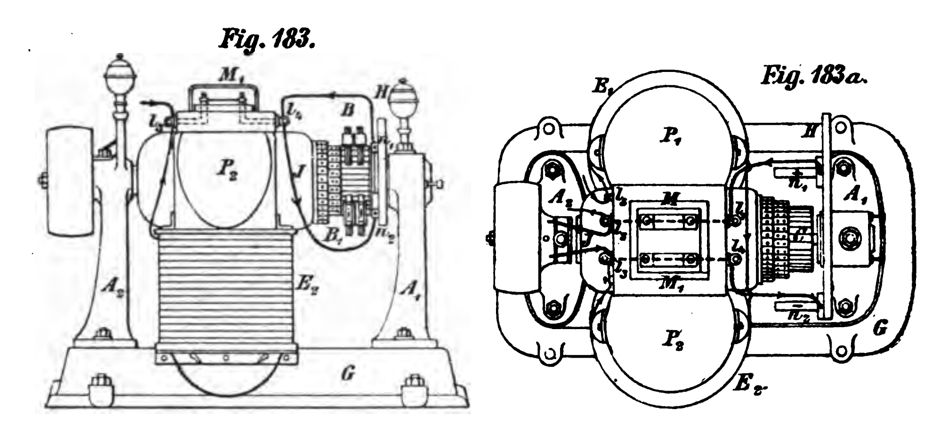
Der Strom geht von den + Bürsten *B* (Fig. 182 *a*, *b*) aus, führt von *m* über Klemme *P* in die Magnetbewicklungen, durchläuft diese, führt über *R* zur Klemme *T*, von wo er in die äußere Leitung tritt. Aus dieser kehrt er über Klemme *V* zu den Bürsten B_1 zurück.

Die Dynamo sitzt auf einer Riemenspannvorrichtung, welche zwei gusseiserne Längsschienen *U* (Fig. 182 *a*) hat, die auf einem hölzernen Rahmen aufruhen und mit diesem und dem Fundamente durch Schrauben verbunden sind. An dem verstärkten Ende greifen die Spannschrauben *Z* ein, welche sich gegen die Maschinengrundplatte stemmen. Durch Anziehen der Schrauben *Z* kann die Maschine auf ihrem Gleitbette verschoben und dadurch der Riemen gespannt werden.

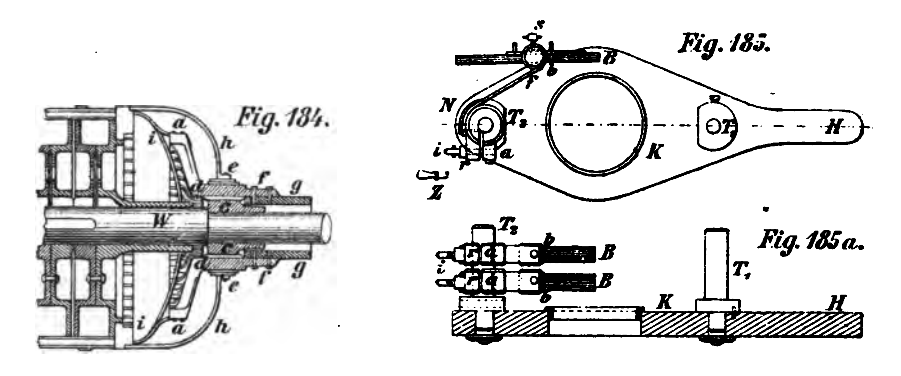
b) Die Figuren 183, 184 und 185 stellen eine zweipolige Nebenschlussmaschine mit Trommelarmatur (der Gebirgs-Beleuchtungsapparate) — Type Siemens & Halske — dar.

Zwei aufrecht stehende Magnetschenkel E_1 E_2 sind mit der gusseisernen Grundplatte *G* in einem Stück gegossen. Die Polschuhe P_1 P_2 umfassen den

in zwei Stehlagern A_1 A_2 gelagerten Anker J, welcher einen Eisencollector C besitzt, dessen Lamellen durch schmale Luftzwischenräume von einander isoliert sind. Die Fig. 184 zeigt die Construction des Collectors. Auf der Welle W ist eine Rothgussnabe c aufgesetzt, die eine Scheibe trägt, an deren äußerem, verbreiterten Rande eben so viel Zähne als Collectorsegmente, vorhanden sind. In die zwischen den Zähnen verbleibenden Zwischenräume sind durch Glimmer-



plättchen isoliert, Rothgusslamellen d eingebettet, welche über den Zahnkranz beiderseits hinausragen. An den Lamellen f sind sodann die eigentlichen Collectorlamellen g angeschraubt, auf welchen die Bürsten B B_1 (Fig. 183) schleifen. Auf der entgegengesetzten Seite des Collectors nehmen die Lamellen d die Ankerdrähte i auf. Die Deckscheiben e sind auf den Zähnen des Kranzes isoliert niedergeschraubt und sollen das Herausfliegen der Lamellen d bei der Ankerrotation



verhindern. Jedes Segment lässt sich durch Lösen von a, e, f leicht herausheben. Zum Schutze der Ankerbewicklung sind Blechcalotten h an der Lamelle e befestigt. T_1 T_2 (Figuren 185 und 185 a) bedeuten Bürstenträgerbolzen, welche in den hölzernen Bürstenträger K befestigt sind. Der Träger K ist an einem Ringansatze des Lagerbockes A_1 mittels der Handhabe H drehbar. Auf T_1 T_2 sitzen die zwei Bürstenhalter N (Fig. 185), welche eine an der Unterseite gespaltene

Hülse *a* haben, an welcher eine Messingfeder *f* angeschraubt ist. Das andere Ende der Feder *f* trägt den Bürstenschuh *b*, in welchem die Bürste *B* mittels Unterlagsplättchen und Druckschraube *s* festgelegt werden kann. Durch Anstecken eines mit einem Holzgriffe versehenen Schlüssels *Z* (Fig. 185) auf dem Zapfen *i* der Druckschraube *r* des Halters *a*, kann letzterer auf dem Bolzen T_2 festgeklemmt oder gelüftet und dann um den Bolzen T_2 gedreht werden. Über den Polschuhenden sind Maschinenbleisicherungen $M M_1$ (Fig. 183*a*) aufmontiert.

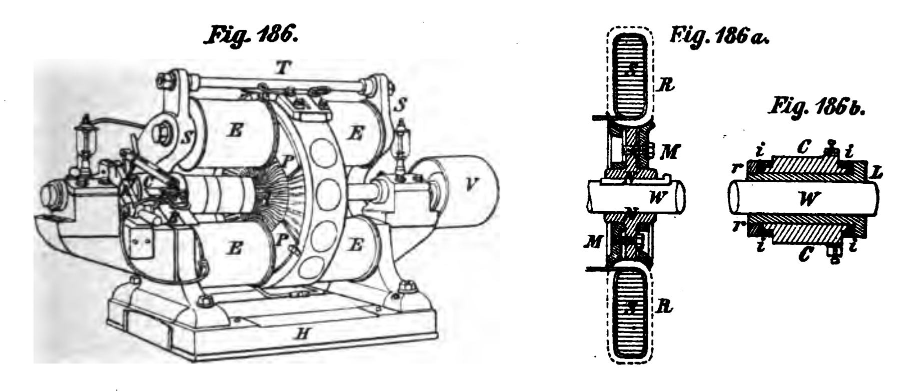
Das Stromschema[1]) ist folgendes:

α) Der Hauptstrom geht von der Klemme n_1 (Fig. 183*a*) des + Bürstenträgerbolzens aus, führt zur Klemme l_1 am Polbrett, dann über die Bleisicherung *M* zur Klemme l_2, hierauf zum Schaltbrette, bezw. in den äußeren Stromkreis; kommt von diesem zurück zur Klemme l_3, dann zur Bleisicherung M_1, führt zur Klemme l_4 und von da durch ein Verbindungskabel zur Klemme n_2 des — Trägerbolzens.

β) Der Nebenschlusstromkreis zweigt bei l_2 ab, führt zum Nebenschlussrheostaten am Schaltbrette, kommt von diesem zur Klemme l_5, durchläuft die hintereinander geschalteten Bewicklungen der Elektromagnete E_1 E_2 und schließt bei Klemme l_3 an die Hauptstromleitung wieder an.

Die Firma Siemens & Halske erzeugt von dieser Maschinentype (*L H*) je nach der angewendeten Spannung (65, 110 Volt) Dynamos für eine Leistung von 13 bis 700 Ampère bei 2100 bis 600 Touren pro Minute.

Fig. 186. Fig. 186 a. Fig. 186 b.



c) In der Fig. 186 ist eine bei den Festungs-Beleuchtungsapparaten verwendete Compoundmaschine mit Flachringanker von Schuckert & Cie. dargestellt.

Die sichelförmigen Ständer *S S* sind einerseits oben durch den langen Schraubenbolzen *T*, anderseits durch die Bodenplatte *H* miteinander verbunden. In den Lagern ist die Welle der Flachringarmatur *A* gelagert und an deren einem Ende ist die Riemenantriebscheibe *V* aufgekeilt. Der Flachring *J* (Fig. 186*a*) besteht aus einem isolierten Eisenkern *S*, welcher aus concentrischen Ringen isolierten Bandeisens gebildet ist. Auf dem Eisenkerne ist eine Kupferdrahtbewicklung *R* aufgebracht. Der derart bewickelte Flachring sitzt sodann auf

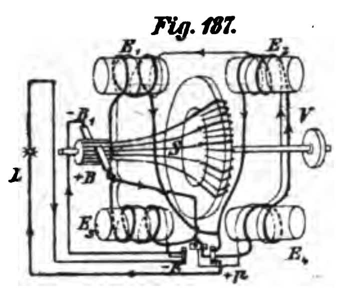
[1]) Siehe auch die Fig. 167, Seite 105.

einer messingenen, mit einer Nabe versehenen Metallscheibe N und wird auf dieser durch seitliche Anzugsscheiben M gehalten, welch' letztere wechselseitig an die Scheibe N angeschraubt sind. Die Drahtenden des Flachringes sind nach der Fig. 186 zur Axe abgebogen und längs dieser zum Collector C geführt. Der Collector sitzt auf einer Hülse L (Fig. 186*b*) und werden dessen Lamellen durch Ringe i zusammengehalten, welche durch Druckschrauben r an die Lamellenstirnflächen angepresst werden. Vier Bürsten B vermitteln die Stromabgabe an die äußere Leitung.

Der Bürstenapparat besteht wieder aus einem zweitheiligen, mit einer Handhabe versehenen Träger K, auf welchen die Bürstenhalter montiert sind, welche die vier Bürsten enthalten, die durch Unterlagsplättchen und Druckschraube festgehalten und durch ein Hebelsystem an den Collector angepresst oder von diesem abgehoben werden können.

Die Elektromagnete E_1 bis E_4 besitzen schmiedeeiserne Kerne, deren inneren Enden die segmentförmigen Polschuhe P (Fig. 186) aufnehmen. Die Kerne erhalten isolierte Kupferdrahtbewicklungen und werden einerseits an die Ständer S festgeschraubt, andererseits sind sie durch Messinglamellen gegeneinander versteift. Eine kleine Schaltplatte (Fig. 187) dient zur Verbindung der Drahtenden der Wicklung.

Fig. 187.



Das Stromschema ist nach Fig. 187 folgendes:

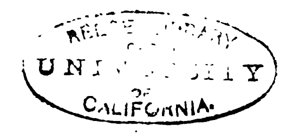
α) Hauptstromkreis: von der + Bürste B führt der Strom zur Schaltplatte, geht in zwei parallel geschaltete Zweigleitungen in die Magnetbewicklungen E_4 E_2 und E_3 E_1, dann zurück zur Schaltplatte, hierauf als eine Leitung zu p, und sodann in die äußere Leitung. Die Rückleitung tritt bei Klemme — p der Schaltplatte ein, führt von hier mittels eines Verbindungskabels zur — Bürste B_1.

β) Der Nebenschlusstromkreis zweigt von der Schaltplatte ab, geht in die Nebenschlussbewicklung der Magnete, durchlauft die hintereinander geschalteten Magnetschenkel E_4 E_2 E_1 E_3 und schließt bei — p an die Hauptstrom-Rückleitung an.

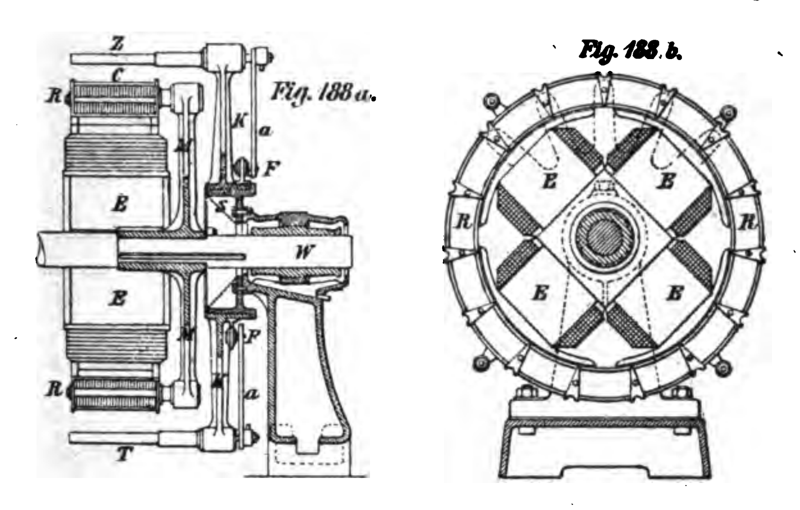
d) In den Figuren 188*a*, *b*, *c* und 189 ist eine vierpolige Innenpol-Nebenschlussmaschine von Siemens & Halske dargestellt.

Es ist dies eine Ringmaschine, bei welcher in dem Innenraume des Ringes R, die Feldmagnete E in vierpoliger Anordnung mit nach außen gerichteten Polflächen untergebracht sind. Der Ankerkern ist aus Eisenblechsegmenten gebildet, welche durch Papier von einander isoliert sind und durch isolierte Rothgussbolzen gehalten werden. Über diesen Kern wird die Bewicklung aufgebracht, deren äußere Lagen gleichzeitig zu Collectorlamellen gestaltet sind, auf welchen nunmehr eine Anzahl von Bürsten B schleift.

Die Bürsten sitzen auf vier in dem Bürstenträger K (Fig. 188*a*) isoliert befestigten, um 90° gegeneinander verschobenen Tragbolzen Z, an deren äußeren Enden je ein Vierkant d (Fig. 189) vorhanden ist. Auf letzteren wird nun ein Arm a aufgesteckt, dessen Enden geschlitzt sind, und welche in den Zapfen b einer Scheibe F eingreifen. Durch deren Drehung können die Bolzen Z gedreht

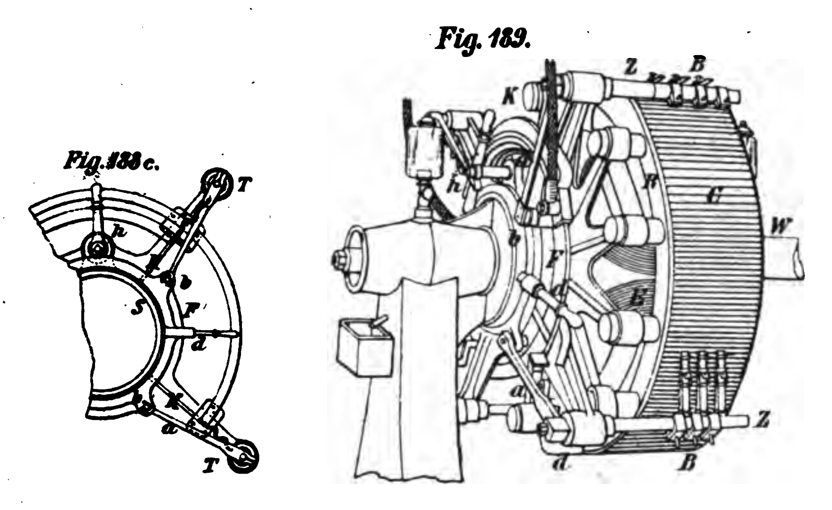


und damit alle Bürsten gleichzeitig vom Collector entfernt oder an diesen angelegt werden. Die Scheibe *F* wird durch einen Handhebel *h* (Fig. 188c) arretiert oder verstellt. Zum Verstellen der Bürsten am Collectorumfange sind



zwei Presschrauben auszulösen, nach deren Auslösung man mittels des Griffes *d* die Bürsten entsprechend am Collectorumfange verschieben kann.

Siemens & Halske baut derartige Typen (*J*) für 30 bis 740 Ampère bei einer Spannung von 100 Volt. Für höhere Spannungen erhalten die



Maschinen einen separaten Collector. Die Maschinen über 290 HP werden mit dem Motor direct gekuppelt.

Die Type *J* hat den Vortheil einer guten magnetischen Disposition, leichten Zugänglichkeit zur Ankerbewicklung, und benöthigt keinen besonderen Collector.

B. Theorie der Dynamomaschinen.

1. Grundgleichung für die elektromotorische Kraft beim Ring- und Trommelanker.

Bei der gleichförmigen Bewegung

a) eines **Ringes** auf einer Kreisbahn in einem zweipoligen und nahezu gleichförmigen Felde NS (Fig. 138), wurde theoretisch gefunden, dass die elektromotorische Kraft E sich von Stelle zu Stelle wie der Sinus jenes Winkels ändert, welchen die Drahtfläche mit der Anfangslage des Ringes einnimmt. Die elektromotorische Kraft, welche bei der Bewegung eines Ringes von 0° bis 90° (also in einem Quadranten) induciert wird, ist hiebei proportional der Anzahl der Kraftlinien, welche der Leiter bei seiner Bewegung schneidet, also $E = HF$, wenn nämlich F die Ringfläche und H die Intensität des Feldes, d. i. die Anzahl der Kraftlinien pro Flächeneinheit darstellt [1]).

Für eine ganze Umdrehung, d. i. von 0° bis 360°, wird sonach $E = 4\,HF$ und für n Umdrehungen in der Secunde $E = 4\,n\,H\,F$ werden.

Bei den Ankern wird nun statt des Ringes eine Reihe von Spulen im magnetischen Felde bewegt. Sind k gleich große und gleich geformte Spulen in jeder Ankerhälfte hintereinander geschaltet und besitzt jede Spule a Windungen, so wird $E = 4\,a.k.F.n.H$ sein.

Nun wird aber bei den Dynamomaschinen das magnetische Feld durch die Anwesenheit eines Ankerkernes wesentlich verändert. Ist die Gesammtzahl der durch den Ankerkern geleiteten Kraftlinien $N = 2\,FH$, so wird die **mittlere elektromotorische Kraft** bei Berücksichtigung obiger Gleichung: $E = 4.a.k.n.\frac{N}{2}$ oder $= 2\,a.k.n.N = n.z.N$ sein, wenn $2\,a\,k = z$ die Gesammtzahl der Windungen des Ankers bedeutet [2]).

---

[1]) Der allgemeine Ausdruck für E ist für einen geschlossenen Leiter von der Fläche F, der sich im gleichförmigen Felde von der Intensität H mit der Winkelgeschwindigkeit $v = \frac{d\varphi}{dt}$ bewegt, $E = H.F.\sin\varphi.\frac{d\varphi}{dt}$ oder $E\,dt = HF\sin\varphi\,d\varphi$, wenn dt ein Zeitelement bedeutet. Die elektromotorische Kraft während einer **endlichen Zeit** (z. B. für die Dauer der Bewegung von 0° bis 180°) wird durch die Summierung der einzelnen elektromotorischen Kräfte, welche im Leiter während dessen Bewegung entstehen, gebildet. Sonach ist:

$$E = \int_0^t E\,dt = HF\int_0^t \sin\varphi\,d\varphi = 2\,HF.$$

Der Mittelwert der elektromotorischen Kraft ist dann $M(E) = \frac{2\,HF}{t}$.

Durchläuft der Ring die Kreisbahn in der Secunde ($= 1$) $n$mal, so ist $2\,nt = 1$, oder $t = \frac{1}{2\,n}$ und $M(E) = 4\,n\,HF$, d. i. die Ordinate in Fig. 141 auf Seite 98.

[2]) In der neutralen Zone ist die Kraftlinienzahl erheblich größer als bei 90° und 270°. Sonach wird auch E beim Vorhandensein eines Eisenringes einen größeren Wert erhalten, weil die Änderung der Gesammtzahl der durch F gehenden Kraftlinien von 0° bis 90° größer wird, als dies beim gleichförmigen Feld und ohne Eisenring der Fall ist.

Im absoluten Maße ausgedrückt, kann die Gleichung dann auch geschrieben werden:

$$E = 10^{-8} . n . z . N \text{ Volt.}$$

b) Beim Trommelanker besitzen die Spulen die Form von Rechtecken, bei deren Bewegung in zwei Erzeugenden (1 und 3, Fig. 149) eine elektromotorische Kraft von bestimmter Richtung und Größe erzeugt wird. Es wird daher die Gleichung für die mittlere elektromotorische Kraft bei Anwendung eines massiven Ankerkernes $E = 10^{8} . 2\, n\, z\, N$ Volt sein.

Führt man statt der Windungszahl z die Gesammtzahl der äußeren Drahtlagen ein, so wird, da z Windungen $2z$ Drahtlagen auf der Mantelfläche des Cylinders entsprechen,

$$E = 10^{-8}\, n . z . N \text{ Volt}$$

sein, so dass diese Formel als Einheitsformel für beide Ankersysteme gelten kann.

Aus vorstehenden Gleichungen ist für den praktischen Betrieb nunmehr zu ersehen, dass

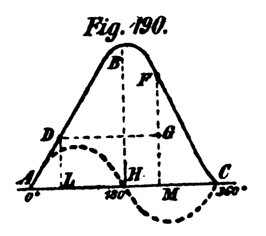
α) je höher die Tourenzahl ist und

β) je stärker das magnetische Feld ist, umso höher die inducierte elektromotorische Kraft einer Dynamomaschine wird.

γ) Je größer anderseits die Spulenzahl k wird, umso geringer werden (wie bereits Seite 99 gesehen wurde,) die Pulsationen [1]) der veränderlichen elektromotorischen Kraft, welche letztere bei der Gleichstrommaschine als constant angesehen werden kann.

Summiert man nach Fig. 190 die aufeinander folgenden elektromotorischen Kräfte, also ihre Ordinatenwerte während einer Umdrehung, so erhält man durch Auftragung der Summenwerte (als Ordinaten) die Curve ABC, welche zeigt, dass das Maximum der Spannungsdifferenz ($= B\,H$) dann herrscht, wenn die Bürsten in der neutralen Zone (0° und 180°) den Collector tangieren. Für eine andere Stellung der Bürsten, z. B. an den Stellen L und M, wird die elektromotorische Kraft $E = MF - LD = GF$ sein und damit, weil $GF < BH$ ist, auch die elektromotorische Kraft eine kleinere werden.

Fig. 190.



Es ist sonach beim Betriebe der richtigen Bürsteneinstellung ein Hauptaugenmerk zuzuwenden, da man sonst ein kleineres E und damit eine geringere Leistung der Dynamomaschine erhält.

2. Allgemeine Grundgleichungen für die Gleichstrommaschinen.

Setzt man voraus, dass die Spulenzahl eines Ankers so groß ist, dass bei gleichbleibender Tourenzahl der Dynamomaschine und bei gleich bleibendem äußeren Widerstande, der Maschinenstrom als nahezu gleichförmig angesehen werden kann, so lassen sich an der Hand der Stromgesetze [2]) nachfolgende Grundgleichungen für die verschiedenen Maschinentypen ableiten:

---

[1]) Die periodischen Schwankungen betragen z. B. bei Annahme von 20 Spulen 1% der Gesammtkraft, bei 36 Spulen 0·2%, bei 60 Spulen 0·1% etc.

[2]) Die Verhältnisse gestalten sich natürlich anders, wenn die obigen Annahmen nicht zutreffen, wie dies später erläutert wird.

α) Bei der **Hauptstrommaschine**, deren Schema in der Fig. 191 dargestellt ist, bedeute J_1 die Stromstärke und R_1 den Widerstand des Ankers, J_2 die Stromstärke und R_2 den Widerstand in den Feldmagneten, i die Stromstärke und r den Widerstand im „äußeren" oder Schließungsleiter [1]), so muss nach der Fig. 191 offenbar $J_1 = J_2 = i$ sein.

Fig. 191.

Der Widerstand im ganzen Stromkreise ist

$$R_1 + R_2 + r = R + r,$$

wenn $R = R_1 + R_2$ den Maschinen- (inneren) Widerstand, r den äußeren Widerstand bedeutet.

Die elektromotorische Kraft ist sodann:

$$E = i\,(R + r) = iR + ir = iR + e,$$

wo $e = ir$ die Klemmenspannung der Maschine [2]) bedeutet.

Hieraus folgt: $r = \frac{e}{i}$.

Man ersieht aus Vorstehendem, dass die Klemmenspannung e um den zur Überwindung des Maschinenwiderstandes nothwendigen Spannungsverlust iR kleiner als die elektromotorische Kraft E ist.

Die Spannung ε, welche an den beiden Bürsten $B\,B_1$ herrscht, ist

$$\varepsilon = i\,(r + R_2).$$

Da nun beim praktischen Betriebe i durch ein Ampèremeter, e durch ein Voltmeter gemessen werden kann, ferner R gegebene, ebenfalls messbare Widerstände der Dynamomaschine bedeutet, so lassen sich mit Hilfe der gemessenen Größen e, i und R, alle übrigen E_1 r, ε u. s. w. durch Rechnung finden.

Graphisch lässt sich die Gleichung $r = \frac{e}{i}$ durch das Dreieck ABC darstellen, wenn man auf der Abscisse $AC = r$, auf der Ordinate $CB = e$ macht.

Fig. 192.

Macht man $CD = R_2$ und $FD = R_1$, so geben die zu CB parallel gezogenen Linien DH und FG die Größe der Bürstenspannung ε, bezw. der elektromotorischen Kraft E. Durch die Projicierung von H und B auf die Linie DH und FG bekommt man in Hb den Spannungsverlust in den Feldmagneten, in Gh jenen im Anker dargestellt.

Die seitens der Maschine innerhalb einer Zeit t geleistete Arbeit wird $A = eit$ sein, und der im äußeren Stromkreise geleistete, elektrische oder Nutz-Effect ist: $P = ei$ Watt $= \frac{ei}{736}$ HP.

Der gesammte von der Maschine geleistete elektrische Effect ist sonach:

$$L = E.J_1 = i^2\,(R_1 + R_2 + r).$$

Derselbe setzt sich zusammen: aus dem Nutzeffecte $i^2 r$, dem Effectverluste $J_1{}^2 R_1$ in der Ankerbewicklung und dem Effectverluste $J_2{}^2 R_2$ in der Feldmagnetbewicklung.

---

[1]) D. i. in dem, den Maschinenpolklemmen $p\,p_1$ angeschlossenen, den Nutzapparat enthaltenden Leitertheil.

[2]) Spannungsdifferenz an den beiden Polklemmen der Dynamomaschine.



Das Verhältnis von

$$\frac{P}{L} = \frac{e\,i}{E\,J_1} = \frac{e}{E} = \gamma \text{ bezeichnet man}$$

als „**elektrisches Güteverhältnis**“ der Dynamomaschine, oder deren „**elektrischer Wirkungsgrad**“.

Die Größe $(100\,\gamma)$ liefert letzteren in Procenten von L.

Zahlenbeispiel. Die Armatur einer Seriendynamo hat 0·03 Ω, die Elektromagnetspulen haben 0·05 Ω, die Leitung 0·3 Ohm Widerstand.

In dieser Leitung befindet sich ein Einzellicht zu 80 Ampère und 56 Volt Lampenspannung geschaltet. Wie groß ist R, e, E, P, L und γ?

Nach den gemachten Ableitungen ist:

$R = 0{\cdot}03 + 0{\cdot}05 = 0{\cdot}08\,\Omega$ $\quad e = 56 + 0{\cdot}3 \times 80 = 80$ V. $E = 0{\cdot}08 \times 80 + 80 = 86{\cdot}4$ V. $P = 80 \times 80 = 6.400$ W und $L = 6.912$ W.; folglich ist $\gamma = \frac{6.400}{6.912} = 0{\cdot}9$ oder 90% der Totalarbeit.

b) **Bei der Nebenschlussmaschine**, deren Schema in Fig 193 dargestellt ist, bedeute i, J_1, J_2, R_1, R_2 dieselben Ausdrücke wie unter *a*) angeführt. Es wird, da hier der vom Anker gelieferte Gesammtstrom J_1 in den nutzbaren, im äußeren Leitungskreise verlaufenden Strom i und in den zur Erregung der Feldmagnete dienenden Strom J_2 getheilt wird, $J_1 = i + J_2$ sein.

Fig. 193.

Der Gesammtwiderstand ist, da R_2 und r parallel geschaltet sind:

$$W = R_1 + \frac{R_2\,r}{R_2 + r} \text{ und sonach}$$

$$E = J_1\,W = (J_2 + i)\left(R_1 + \frac{R_2\,r}{R_2 + r}\right).$$

Ferner ist $e = i.r = J_2\,R_2$, woraus $J_2 = \frac{e}{R_2}$ folgt.

Da nun i, e und $R = R_1 + R_2$ wieder zu messende, bezw. gegebene Größen sind, so lassen sich aus diesen alle übrigen, wie: E, J_1, J_2, r, ε u. s. w. berechnen.

Es wird also $J_1 = i + \frac{e}{R_2}$, und $E = e.R_1\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r}\right)$ sein.

Der Nutzeffect ist: $P = e\,i = i^2\,r$, der totale, elektrische Effect ist $L = E.J_1 = J^2_1\,R_1 + J^2_2\,R_2 + i^2 r$, und der Wirkungsgrad

$$\gamma = \frac{i^2\,r}{J_1{}^2\,R_1 + J_2{}^2\,R_1 + i^2\,r}.$$

In der Praxis sind die Widerstände R_1 und R_2 wesentlich verschieden, u. zw. variiert das Verhältnis des Ankerwiderstandes zum Nebenschlusswiderstand von 1:150 bei kleinen Maschinen, bis 1:3.000 und darüber bei großen Typen.

Beispiel. Es sei eine Nebenschlussmaschine gegeben, deren Armaturwiderstand 0·3 Ω, der Widerstand der Feldmagnetbewicklung 17 Ω, der entsprechende Magnetisierungsstrom $J_2 = 4$ Ampère ist. In dem äußeren Stromkreis ist ein Bogenlicht zu 30 Ampère und 50 Volt, ferner 20 Stück 16kerzige, 65voltige Glühlampen zu 0·5 Ampère parallel geschaltet. Der Widerstand der Zuleitungen beträgt 0·125 Ω.

Sonach ist $i = 30 + 20 \times 0{\cdot}5 = 40$ A. und $J_1 = 40 + 4 = 44$ A.

Ferner ist: $e = 65 + 40 \times 0{\cdot}125 = 70$ V. und $r = \frac{70}{40} = 1{\cdot}75\ \Omega$.

$$W = 0{\cdot}3 + \frac{17 \times 1{\cdot}75}{17 + 1{\cdot}75} = 1{\cdot}8\ \Omega. \quad E = 40 \times 1{\cdot}8 = 76 \text{ Volt};$$

ferner $P = 40 \times 70 = 2.800$ W., $L = 44 \times 76 = 3.344$ W.; und endlich $\gamma = 0{\cdot}84$.

c) Bei der Maschine mit gemischter Bewicklung (Compounddynamo) sei einfacher Weise nur jene mit kurzem Nebenschluss vorausgesetzt und in der Fig. 194 schematisch dargestellt.

Der vom Anker gelieferte Gesammtstrom J_1 verzweigt sich wieder in die Theilströme i und J_2, sonach wird $J_1 = i + J_2$ sein.

Der Gesammtwiderstand ist:

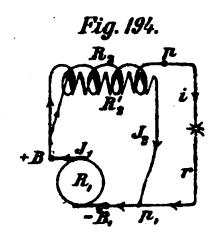


Fig. 194.

$$W = R_1 + \frac{R'_2 (R_2 + r)}{R'_2 + (R_2 + r)}, \text{ u. zw.}$$

weil R_2 und $(R'_2 + r)$ miteinander parallel geschaltet sind. Folglich wird:

$$E = J_1 W = J_1 \left[R_1 + \frac{R'_2 (R_2 + r)}{R'_2 + (R_2 + r)}\right] \text{ sein.}$$

Die Klemmenspannung ist $e = i\, r$, woraus $r = \frac{e}{i}$ resultiert.

Mit Hilfe der direct zu messenden Größen i, e R_1 R_2 R'_2 kann man alle übrigen wieder rechnen.

Da $J_2 R'_2 = i (R_2 + r)$ ist, wird $J_2 = i \frac{R_2 + r}{R'_2}$ sein.

J ist sodann leicht zu bestimmen.

Der Nutzeffect ist $P = e\, i = i^2 r$, der totale elektrische Effect:

$$L = J_1^2 R_1 + J_2^2 R'_2 + i^2 R_2 + i^2 r, \text{ und}$$

der Wirkungsgrad $\gamma = \frac{P}{L}$.

Das Verhältnis der Widerstände im Anker und Nebenschluss ist angenähert dasselbe, wie bei der reinen Nebenschlussmaschine, während hingegen die Compoundwicklung in der Regel bei guten Maschinen einen Widerstand hat, welcher kleiner als der Ankerwiderstand ist, so dass also der Spannungsverlust in der Compoundwicklung bei voller Belastung selten 1% der Totalspannung überschreitet.

Beispiel: Es sei eine Compoundmaschine der fahrbaren Festungs-Beleuchtungs-Apparate gegeben, dessen Ringbewicklung $0{\cdot}07\ \Omega$, deren Nebenschluss $20\ \Omega$ und die Compoundwicklung $0{\cdot}04\ \Omega$ Widerstand besitzt. In dem äußeren Stromkreis sind 7 parallel geschaltete Bogenlichter à 10 Ampère und 45 Volt geschaltet; die Maschinenklemmenspannung beträgt 70 Volt.

Folglich ist $W = 0{\cdot}07 + \frac{20\,(0{\cdot}04 + 1)}{20 + (0{\cdot}04 + 1)} = 1{\cdot}06\ \Omega$.

$$i = 70 \text{ A. und } r = \frac{70}{70} = 1\ \Omega,; \text{ ferner ist}$$

$$J_2 = \frac{70}{20} = 3{\cdot}5 \text{ A. und } J_1 = 70 + 3{\cdot}5 = 73{\cdot}5 \text{ A.}$$

Mithin ist weiter: $E = 1{\cdot}06 \times 73{\cdot}5 = 78$ V.
$P = 70 \times 70 = 4.900$ W.
$L = 78 \times 73{\cdot}5 = 5.733$, und endlich $\gamma \doteq 0{\cdot}85$.

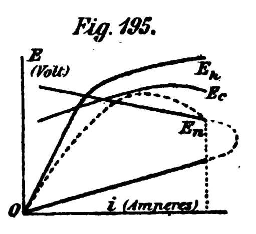
3. Graphische Theorie der Dynamomaschinen.

Eine viel anschaulichere Vorstellung als die algebraischen Theorien geben über die Verhältnisse und Vorgänge in den Dynamomaschinen die graphischen Darstellungen der Stromgrößen, u. zw. in jenem Zusammenhange, wie sie sich im Betriebe der Maschinen darstellen. Auf Grund von experimentell ermittelten Darstellungen ist man dann dazu gelangt, für den Bau und die Construction von Dynamomaschinen eine Reihe von Berechnungsformeln ableiten zu können, welche sich in neuerer Zeit immer mehr vervollkommt und einer allgemeineren Anwendung erfreut haben. Im nachfolgenden sollen jedoch mit Rücksicht auf den Zweck des Werkes nur jene Darstellungen kurz erwähnt werden, welche zur allgemeinen Orientierung nothwendig sind.

Diese graphischen Darstellungen betreffen:

a) die Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft E und der Klemmenspannung e von der Stromstärke i im äußeren oder Nutzstromkreise. Trägt man die bei Einhaltung einer bestimmten Tourenzahl und bei Variation des äußeren Widerstandes experimentell erlangten Größen E, e und i in ein Coordinatensystem (Fig. 195) auf, so bekommt man für E eine bestimmte Curve, welche man die „Charakteristik“ nennt. Die Curve für e heißt man die „äußere Charakteristik“. In der Fig. 195 bedeutet E_h die Charakteristik einer Haupt-, E_n jener einer Nebenschluss- und E_c jene einer Compoundmaschine. Aus diesen Curven ersieht man ein verschiedenes Verhalten der drei bezeichneten Maschinentypen.

Fig. 195.



Die Curve E_h zeigt, dass die Proportionalität zwischen E und i nur bis zu einem Punkte anhält, bei welchem, wie die Praxis lehrt, das Ankereisen an seinem Sättigungspunkte angekommen ist. Je schneller nun eine solche Curve sich krümmt, desto ungenügender sind die verwendeten Eisenmassen des Ankers im Verhältnisse zum Kupfergewichte des Ankers.

Die Curve E_n wieder zeigt, dass jedem Werte von i, zwei Werte von E entsprechen. Welcher Wert nun giltig ist, hängt vom äußeren Widerstand ab. Die Curve E_c zeigt, dass die elektromotorische Kraft annähernd einen von der Stromstärke unabhängigen Wert bekommt. Ähnlich wie E_c und E_n verhalten sich auch die in der Figur nicht aufgenommenen Curven für die Klemmenspannung e.

Die Charakteristik ändert sich aber mit der Tourenzahl und mit der Bewicklungsart; sie wird durch letztere beeinflusst.

b) Die Abhängigkeit des magnetischen Feldes von der magnetisierenden Stromstärke in den Magnetschenkeln, bezw. von den Ampèrewindungen auf denselben.

Trägt man in einem rechtwinkeligen Coordinatensysteme Fig. 196 als Abscisse die magnetisierende Kraft, d. i. das Product aus Windungen auf den Schenkeln mal der Stromstärke, welche diese Windungen durchfließt, als Ordinaten die Stärke des magnetischen Feldes der Maschine auf, welche z. B. durch die bei gegebener Tourenzahl erzeugte elektromotorische Kraft gemessen werden kann, so erhält man die sogenannte „Magnetisierungscurve“ der Maschine, welche im wesentlichen für die drei Gattungen Dynamomaschinen gleich ist.

Fig. 196.

c) Meist sucht man in der Praxis die Abhängigkeit der charakteristischen Größen der Dynamomaschinen, wie E, e, i, l u. dgl. vom äußeren Widerstande zu ermitteln.

Trägt man sich in den Diagrammen (Figuren 197 und 199) auf den Abscissen den variablen Widerstand r, auf den Ordinaten (u. zw. in verschiedenem Maßstabe)

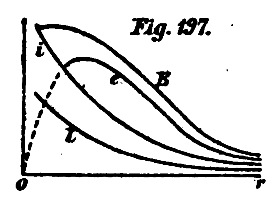


Fig. 197.

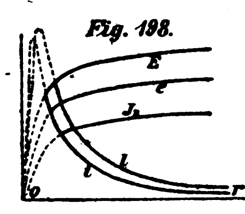


Fig. 198.

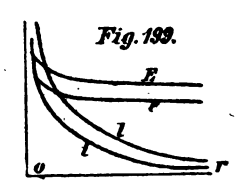


Fig. 199.

die anderen vorangeführten Größen E, e, i, l auf, so bekommt man die in den Figuren dargestellten Curven. Fig. 197 bezieht sich auf eine Hauptstrommaschine. Bei derselben sieht man, dass die Stromstärke i mit wachsendem Widerstande rasch fällt und für $r = \infty$ (d. h. bei offenem Stromkreise) Null wird. Die elektromotorische Kraft E nimmt ebenfalls mit wachsendem Widerstande ab und nähert sich asymptotisch einem Grenzwerte. Die Polspannung e steigt zuerst mit dem Widerstande, erreicht ein Maximum und fällt hierauf, um sich sodann analog der Curve E zu verhalten. Für $r = 0$, ist $e = 0$, für $r = \infty$ wird $e = E$.

Bei der Nebenschlussmaschine (Fig. 198) beginnt die Curve für die Stromstärke i im äußeren Stromkreise nicht im Nullpunkte, sondern erst nachdem r einen bestimmten Betrag erreicht hat. Dies kommt daher, dass für $r = 0$, der Strom J_2 in den Feldmagneten (Fig. 193) Null ist[1]), und daher die Maschine nicht erregt wird; erst nach Erlangung eines gewissen Wertes von r, wird J_2 hinreichen, um ein wirksames magnetisches Feld zu erzeugen.

Die Curve i steigt rasch mit wachsendem Widerstande, erreicht ein Maximum und fällt hierauf, um sich dem Grenzwerte Null zu nähern. Die Curve für die Stromstärke J_2 in den Feldmagneten verläuft analog jener der Polspannung e und der elektromotorischen Kraft E, welche für $r = 0$ Null ist, und erst vor einem bestimmten Widerstande rasch ansteigt, um nach Ueberschreitung eines gewissen Widerstandes nahezu parallel mit der Abscissenaxe zu verlaufen. Die Polspannung erscheint hier also annähernd constant.

Die Curve für den Nutzeffect l verläuft ähnlich der Curve i; der Nutzeffect ist am größten, wenn der äußere Strom am größten ist.

[1]) Aus $e = i\,r = J_2 R_2$ muss für $r = 0$, $J_2 = 0$ werden.

Bei der Compoundmaschine (Fig. 199) nähert sich die Curve *i* und *l* mit wachsendem *r* asymptotisch einem Minimalwerte, während die Polspannung *l* und die elektromotorische Kraft von einem gewissen Widerstande an eine mit der Abscissenaxe nahezu parallele Gerade bilden. Die Maschine erscheint daher als solche mit constanter Klemmenspannung (reine Gleichspannungsmaschine).

4. Berechnung und Überprüfung von Dynamomaschinen.

Die vorstehend angeführten, graphischen Theorien haben nun, wie erwähnt, das Mittel an die Hand gegeben, aus ihnen gewisse experimentell gefolgerte Constructionsregeln aufzustellen, welche, wie z. B. die Arbeiten von Hopkinson, Kapp u. a. als thatsächliche Grundlage für die Berechnung genommen werden. Da die Leistung einer Dynamomaschine durch die Gleichung $P = E J_1$, bezw. $E = 10^{-8} . n . z N$ Volt bestimmt wird, handelt es sich dem Constructeur stets darum, den Zusammenhang zwischen den Größen E, J_1, z, n und N zu finden.

Dies tangiert die Lösung zweier Aufgaben, u. zw. *a*) betreffend die Construction des Ankers [1]) und *b*) jene des Magnetfeldes [2]).

Für erstere bedient man sich der obigen Gleichungen, während für letztere mehrfache Methoden (jene von Hopkinson, Kapp etc.) im Gebrauche sind.

Gewöhnlich liegen allen Berechnungen bestimmte, durch die Praxis bewährte Versuchstypen vor, welche sodann gestatten, andere Dynamomaschinen größerer oder geringerer Leistungsfähigkeit annähernd zu berechnen.

Die darnach gebauten Dynamomaschinen werden vor ihrer definitiven Montierung in einem Versuchsraume erprobt, und hiebei hinsichtlich folgender Hauptpunkte untersucht:

a) Prüfung auf eventuelle Constructionsfehler,
b) Prüfung auf die erforderliche Tourenzahl bei gegebener Belastung,
c) Prüfung auf die Erwärmung der Maschine nach mehrstündigem Betriebe bei voller Belastung.

ad *a*) Außer den rein mechanischen Constructionsfehlern können auch elektrische vorkommen, welche sich theilweise schon bei der zunächst vor dem Anlassen der Dynamo vorzunehmenden Messung der Widerstände zeigen werden, während andere sich erst während des Betriebes bemerkbar machen.

ad *b*) Ist die Maschine fehlerlos, so wird dieselbe entsprechend ihrer Leistung auf Widerstände oder Lampen geschaltet und die Tourenzahl gemessen. Meistens ist dieselbe von vorneherein bekannt, und ist die Übereinstimmung mit dieser bekannten Tourenzahl fast immer eine Gewähr dafür, dass die Maschine einerseits keine Mängel mehr aufweist, anderseits dass die Wicklung derselben in allen Theilen richtig durchgeführt wurde.

ad *c*) Läuft die Maschine mit richtiger Tourenzahl und ist sie sonst fehlerfrei, so wird dieselbe einer Dauerbelastung unterzogen, indem man dieselbe so lange mit voller Belastung in Betrieb belässt, bis die Erwärmung der Maschine stationär geworden ist und die Temperatur nicht mehr steigt. Es genügt für

---

[1]) Betrifft die Wahl der Tourenzahl, der Beanspruchung, Isolation der Wicklungsdrähte, Anzahl der Lagen und Abtheilungen, Eisenquerschnitt des Ankers.

[2]) Betrifft die Wahl des Eisenquerschnittes, Form und Dimensionen der Eisenkerne, sowie jene der Wicklung, u. zw. in ähnlicher Weise wie vor.

eine kleine Maschine eine 3 bis 4 stündige, für eine größere eine 6 bis 10 stündige Erprobung. Nach dem Abstellen der Maschine werden die Temperaturen des Ankers und der Magnete gemessen und Widerstandsmessungen der Dynamomaschine im warmen Zustande vorgenommen. Die maximal zulässige Temperaturerhöhung richtet sich nach der Güte des Isolationsmateriales der Wicklungsdrähte und beträgt bei Drähten mit Baumwollbestimmung etwa 40 bis 50° C° über die Lufttemperatur.

Hat man eine eingelieferte Dynamomaschine zu überprüfen, so geschieht dies dadurch, dass man die Maschine auf den zu betreibenden Verbrauchsgegenstand, z. B. auf eine Lampe oder äquivalenten Widerstand arbeiten lässt, hiebei mittels eines Ampère- und Voltmeters die Stromstärke und Klemmenspannung ermittelt und hieraus sich den Effect, bezw. nach Ermittlung der Gesammtarbeit, sich das Güteverhältnis bestimmt. Für die Berechnung der Gesammtarbeit müssen entweder die Constructionsdaten der Firma vorliegen oder es müssen die Widerstände der Anker- und Magnetbewicklungen, eventuell jene der Zuleitungen zum Verbrauchsapparate gemessen werden.

5. Verwendung der Dynamomaschinen.

Aus der Betrachtung der auf Seite 122 dargelegten Verhältnisse bei den verschiedenen Dynamomaschinentypen ergibt sich auch leicht die Verwendungsart der verschiedenen Typen.

Hauptstrommaschinen, bei welchen sowohl die Polspannung, als auch die Stromstärke mit dem Widerstande r sich ändert, verwendet man mit Vortheil nur dann, wenn der äußere Widerstand r ungeändert bleibt, also wenn z. B. eine bestimmte Anzahl von Bogenlampen fortwährend gespeist werden soll. Die Größe der Maschine wählt man derart, dass für diesen bestimmten Widerstand das Product $e.i$ möglichst der größten Leistung der Maschine entspricht. Infolge des Umstandes, dass die Polarität der Maschine umgekehrt werden kann, eignen sich diese Maschinen nicht für eine Ladung von Accumulatoren oder von elektrolytischen Bädern, oder überhaupt nicht, wo elektromotorische Gegenkräfte vorhanden sind. Die Hauptstromdynamos sind hauptsächlich für den Betrieb hintereinander geschalteter Bogenlampen und für die elektrische Kraftübertragung im Gebrauche.

Nebenschluss- und Compoundmaschinen ändern ihre Spannung bei ungleichem Widerstande wenig, heißen daher auch „Gleichspannungsmaschinen". Man kann durch Einschaltung eines Widerstandsregulators im Nebenschlusse, die Stromstärke i und Klemmenspannung e regulieren, bezw. letztere ganz constant halten [1]). Die Maschinen sind daher vortheilhaft bei dem Systeme der Parallelschaltung, also für Glühlicht allein oder in gemischten Anlagen, d. h. für Glüh- und Bogenlicht zu verwenden. Die Nebenschlussmaschinen besitzen den Vortheil, dass ihre Polarität nicht umkehrbar ist und dass ein Ein- und Ausschalten von Verbrauchsapparaten, oder ein Versagen derselben, die anderen parallel geschalteten Apparate gar nicht oder nur wenig beeinflusst. Deshalb werden sie zum Laden von Accumulatoren und zur Erzeugung galvanischer Metallniederschläge verwendet. Die Compound-

[1]) Siehe die Regulierung von Dynamomaschinen.

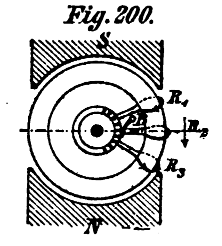
maschinen sollen bei constanter Tourenzahl stets die gleiche Spannung, u. zw. auch bei variabler Stromstärke besitzen; sie kommen hauptsächlich für Glühlicht und gemischte Beleuchtung in Verwendung.

6. Secundäre Erscheinungen.

Dieselben betreffen:

a) den Kurzschluss der Ankerspulen an den Bürsten. Wie auf Seite 97 erwähnt, tritt bei der Bewegung der Spulen in den Lagen 0° und 180° ein Stromwechsel ein und es wird die Spule in dem Augenblicke, wo sich die Bürste an das zugehörige Collectorstück anlegt, kurzgeschlossen, die Spule damit aus der Ankerleitung ausgeschlossen. Dieser Stromwechsel induciert in den benachbarten Spulen Inductionsströme, welche sich aber in beiden Ankerhälften aufheben. Ist jedoch die Spule in diesem Momente infolge der Einwirkung des magnetischen Feldes der Sitz einer elektromotorischen Kraft, was z. B. eintreten kann, wenn die Bürsten nicht in der neutralen Zone liegen [1]), so wird durch das Verschwinden des Stromes in der Spule ein starker Extrastrom hervorgerufen, welcher einerseits die Spule erwärmt und anderseits einen Energieverlust bedingt. Dieser Extrastrom kann weiters beim Abgleiten der Spule von der Bürste und beim Übergange in die untere Leiterhälfte so verstärkt werden, dass zwischen dem betreffenden Collectorsegmente und der Bürste starke Funken auftreten (Feuern der Bürsten). Da diese Funken eine rasche Abnützung der Bürsten und des Collectors zur Folge haben können, so müssen die Bürsten stets derart aufgelegt werden, dass die Spulen nur dann geschlossen werden, wenn sie stromlos sind, d. i. beim Passieren der neutralen Zone.

Fig. 200.



In welcher Weise eine unrichtige Bürstenstellung die Größe der elektromotorischen Kraft beeinflusst, zeigt die Fig. 190 auf Seite 117, wo bei Annahme der Bürstenstellung an den Punkten DF, bezw. an anderen Durchmessern des Collectors, die Spannungsdifferenz nur mehr die Größe FG, statt BH besitzt.

b) Das Verschieben der neutralen Zone in der Drehrichtung des Ankers. Dasselbe ist in der Rückwirkung der Armaturströme auf das magnetische Feld begründet. Die Annahme, dass die neutrale Zone senkrecht zur Verbindungslinie der Pole der Feldmagnete sei, trifft in Wirklichkeit nicht zu.

Der Strom in den Ankerbewicklungen magnetisiert den Ankerkern derart dass dieser zwei halbkreisförmige Elektromagnete bildet, welche ihre gleichnamigen Pole n' s' einander zukehren. Diese, durch die Wicklungssolenoide hervorgerufenen Pole n' s' combinieren sich aber mit den durch die Feldmagnete im Ankerkerne hervorgerufenen Pole n s derart, dass resultierende Pole N' S' entstehen, deren Verbindungslinie mit der magnetischen Axe NS einen Winkel φ bildet. Das Kraftlinienbild des combinierten Feldes einer im Gange befindlichen

[1]) Unrichtige Bürstenstellung.

Maschine wird, wie Fig. 201 zeigt, ganz anders aussehen, als jenes im betriebslosen Zustande der Maschine, d. h. die Kraftlinien erscheinen bei der arbeitenden Dynamomaschine verzerrt [1]), und es wird die resultierende Polarität im Sinne der Drehung verschoben. Diese Verschiebung wird umso stärker erfolgen, je stärker der Ankerstrom ist. Um zu vermeiden, dass, wie unter *a*) erwähnt, Funkenbildungen an den Bürsten auftreten, müssen diese daher in die wirkliche, neutrale Zone OO' verschoben werden, was beim Betriebe dadurch geschieht, dass man die Bürsten am Collectorumfange so lange verrückt, bis keine Funken mehr auftreten.

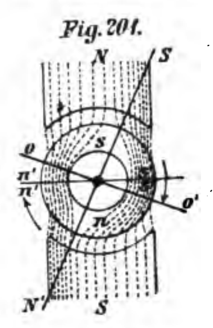


Fig. 201.

Den Winkel φ nennt man den Voreilungswinkel. Letzterer wird umso kleiner, je kräftiger die Feldmagnete sind. Er variiert mit der Intensität des Nutzstromes. Aus diesem Grunde muss daher die Bürstenstellung stets der jeweiligen Stromstärke angepasst werden. Bei guten Dynamos beträgt das Voreilen der Bürsten höchstens zwei bis drei Lamellen.

c) Infolge der Inductionswirkungen in körperlichen Leitern werden auch in den Eisenmassen des Ankers, der Feldmagnete, der Gerüste, dann in den Wicklungen Inductionsströme (Wirbelströme) entstehen, welche sich nach außen in der Erzeugung von Wärme offenbaren. (Es unterliegt ja jedes Eisentheilchen des Ankers bei einer Umdrehung einem magnetischen Kreisprocesse.) Um nun diese Inductionsströme unschädlich zu machen, zertheilt man die Ankereisen, und stellt diese aus Ringen, Blechen, Bandeisen etc. dar; ferner sucht man durch entsprechende Wahl großer Kerne, durch entsprechende Form der Polschuhe, entsprechende Dimensionierung des Luftzwischenraumes bei denselben, dann durch Anordnung von Polbüchsen, Nuthen- oder gezahnten Ankern, Locharmaturen etc., die Entstehung der Wirbelströme zu unterdrücken.

C. Der Betrieb von Dynamomaschinen.

1. Betriebsgröße.

Wie Seite 118 gesehen, ist der totale elektrische Effect einer Dynamomaschine

$$L = E . J_1,$$

d. i. dem Producte aus der Armaturstromstärke in die elektromotorische Kraft der Maschine.

Die rotierende Bewegung des Ankers wird nun durch den Antrieb desselben seitens eines Motors (Dampfmaschine, Turbine etc.) mit Hilfe entsprechender Antriebsmittel (Riemen-, Seil-, Rädertrieb) bewirkt, wobei der Motor Arbeit an die Dynamomaschine abgibt. Das Verhältnis der von der Dynamomaschine geleisteten (Nutz-) Arbeit $N = \frac{ei}{736}$ P. S. zu der vom antreibenden Motor abgegebenen Arbeit A bezeichnet man als „mechanischen Wirkungsgrad" einer Dynamomaschine. Sonach ist:

$$\mu = \frac{ei}{737 . A.} \text{ P. S.}$$

[1]) Früher „Verschleppung des Magnetismus" genannt.

Letzterer Wirkungsgrad hängt von der Größe und Belastung einer Maschine ab, und beträgt bei besseren Dynamomaschinen 0·8 bis 0·90. Gewöhnlich rechnet man bei den elektrischen Maschinen bei Berücksichtigung aller Verluste elektrischer und mechanischer Natur approximativ 550 Watt pro Pferdestärke.

Will man sonach eine Betriebskraft für eine Dynamomaschine ermitteln, so braucht man nur das Produkt aus der Maschinenklemmenspannung mal der Stromstärke durch 550 zu dividieren.

Dass die Art der Übertragung vom Motor auf die Dynamomaschine wesentlich den Effect beeinflusst, liegt auf der Hand. Direct angetriebene Dynamos werden unter sonst gleichen elektrischen Umständen immer den größten mechanischen Wirkungsgrad geben.

Beispiel. Die zwei Seriendynamos eines Küsten-Beleuchtungsapparates werden von einer 25-pferdigen Dampfmaschine mittels Riemen angetrieben. Jede Dynamo liefert 80 Ampère bei 85 Volt Maschinenklemmenspannung. Wie groß ist μ? Die elektrische Arbeit beider Dynamos ist

$$P = \frac{2\,(80 \times 85)}{736} = \frac{13.600}{736} = 18{\cdot}5 \text{ P. S.},$$

folglich ist

$$\mu = \frac{18{\cdot}5}{25} = 0{\cdot}74 \text{ oder } 74\%.$$

2. Die Betriebsverluste in einer Dynamomaschine.

Dieselben entstehen:

a) durch die Erwärmung der Wicklungsdrähte im Anker und auf den Feldmagneten, namentlich infolge zu starken Stromes, dann Kurzschlusses der Ankerspulen oder zu hoher Tourenzahl; ferner durch Verluste infolge Auftretens von Wirbelströmen im Ankereisen, in den Ankerwindungen, durch magnetische Reibung (Hysteresis) in den Magnetkernen, durch gegenseitige Induction der Ankerwicklungen und Selbstinduction, durch Übergangswiderstände an den Bürsten u. s. f.

b) Durch mechanische Verluste, wie: durch Reibungswiderstände in den Lagern, Zapfen, Bürstenreibung, Luftwiderstand, schlechte Riemenspannung.

c) Durch Constructionsfehler, wie: durch Isolationsfehler der Bewicklungen, magnetischer Kurzschluss.

Mit Rücksicht auf diese vorbezeichneten Verluste ist es stets von Vortheil, jene Arbeit kennen zu lernen, welche die Dynamomaschine braucht, wenn der äußere Stromkreis unterbrochen ist, und welche Arbeit man als „Leerlaufarbeit" bezeichnet. Man gewinnt durch letztere die Möglichkeit, abnormale Reibungswiderstände (z. B. zu ein straffes Spannen der Riemen) vermeiden und die mechanischen Verluste beschränken zu können.

Die experimentelle Bestimmung der zum Antriebe einer Dynamomaschine nothwendigen mechanischen Arbeit kann praktisch durch Abbremsen des Motors (mittels des Prony'schen Zaumes), durch Abnahme von Indicator-Diagrammen an der Dampfmaschine, durch Anwendung von Transmissionsdynamometern oder nach elektrischen Methoden geschehen.

3. Das Angehenlassen zum Betrieb.

Das Inbetriebsetzen der Dynamomaschinen hängt von der Erregung der Dynamomaschine ab.

Hauptstrommaschinen, welche bei offenem Stromkreise sich nicht erregen können, gehen bei geschlossenem Stromkreise erst nach einer gewissen Rotationszeit oder nach einer gewissen Tourenzahl (todte Touren) an, u. zw. nur dann, wenn der äußere Widerstand nicht zu groß ist. Sie erregen sich um so schneller, je geringer also der äußere Widerstand ist. Bei Kurzschluss wächst (siehe auch Seite 122, Fig. 197) die Stromstärke und elektromotorische Kraft sehr stark.

Nebenschlussmaschinen erregen sich auch bei offenem, äußeren Stromkreise und gehen ebenfalls erst von einer gewissen Tourenzahl an, u. zw. wenn der äußere Widerstand nicht zu klein ist. (Siehe Fig. 198 auf Seite 122.) Bei Kurzschluss wird die Maschine jedoch stromlos.

Compoundmaschinen, bei welchen der Nebenschluss stärker überwiegt, wirken wie eine Nebenschlussmaschine.

4. Verhalten der Dynamomaschinen gegen Touren- und Widerstandsänderungen.

In dieser Hinsicht kann man bei den drei Typen von Gleichstrommaschinen ein verschiedenes Verhalten unterscheiden:

a) Bei der Hauptstrommaschine. Diese geben α) bei Tourenänderungen, u. zw. bei Geschwindigkeitserhöhungen eine Vergrößerung der elektromotorischen Kraft $E = z . n . N$, und damit bei constantem äußeren Widerstande gleichzeitig eine Erhöhung der Stromstärke i, weil sich diese einerseits infolge der Vergrößerung der Intensität des magnetischen Feldes und der dadurch bedingten Erhöhung der Inductionswirkung, anderseits damit im äußeren Stromkreise nach dem Ohm'schen Gesetze ändert.

Diese mit der Vergrößerung von E und i[1]) verbundene Erhöhung der Maschinenleistung widerstrebt aber der Erhöhung der Geschwindigkeit, und deswegen findet das Anwachsen der Tourenzahl in seiner Folge eine Dämpfung. Bei Abnahme der Tourenzahlen der Dynamo sinkt sowohl die elektromotorische Kraft, als auch die Stromstärke gleichzeitig[2]).

β) Bei Widerstandsänderungen (jedoch bei Beibehalt constanter Tourenzahl) ändert sich die Stromstärke und damit zugleich die Intensität des magnetischen Feldes mit dem Widerstande. (Siehe Fig. 197, Seite 122.) Dadurch tritt auch wieder eine Änderung der Maschinenleistung ein und diese wirkt auf den Motor, verlangsamt für den Augenblick den Gang desselben bei höherer Leistung (d. h. bei Zunahme der Stromstärke) und beschleunigt ihn bei niederer Leistung oder bei (Abnahme der Stromstärke). In vielen Fällen wird die Störungsursache (d. i. die Widerstandsänderung) oft schon verschwunden sein[3]), wenn die Wirkung auf die Tourenzahl eintritt, so dass also jeder Schwankung des Widerstandes eine entgegengesetzt wirkende der Tourenzahl folgen wird.

---

[1]) Ampère- und Voltmeter zeigen sonach mehr.
[2]) Volt- und Ampèreanzeige fällt.
[3]) Z. B. bei Variationen im Lichtbogen.

Die Betriebsmessapparate (Ampère- und Voltmeter) werden ihre Anzeigen im gleichen Sinne verändern.

a) Bei der Nebenschlussmaschine erfolgt die Änderung des magnetischen Feldes nicht sofort, wie bei der Hauptstrommaschine.

α) Bei Tourenänderungen wird z. B. bei Erhöhung der Tourenzahl und constantem äußeren Widerstande, sich zuerst die elektromotorische Kraft E erhöhen und damit die Stromstärke J_1 im Anker. Dieser folgt jetzt eine Vergrößerung der magnetisierenden Kraft der Feldmagnete und damit eine stärkere Induction. Die Wirkungen der Geschwindigkeitsänderung sind in ihren Folgen wohl dieselben, wie unter 1 α) besprochen, sie sind aber bei der Nebenschlussmaschine zeitlich mehr auseinander gezogen.

β) Bei Widerstandsänderungen ändert sich im ersten Augenblicke nur die Stromstärke im äußeren Stromkreise, während jene des Magnetfeldes erst später und langsam nachfolgt.

Der Sinn der Einwirkung auf das magnetische Feld ist entgegengesetzt dem Änderungssinne des Ankerstromes. Z. B. der bei Widerstandserhöhung im äußeren Stromkreise wird zuerst eine Stromabnahme im Hauptstromkreise erfolgen [1]), dann erst eine Zunahme der magnetisierenden Kraft des Feldes [2]) stattfinden. Im ganzen wird aber hiedurch die Leistung der Maschine nicht so stark beeinflusst, wie dies bei Widerstandsänderungen der Seriendynamo der Fall ist, und die Betriebsschwankungen wirken hier auch nicht so stark auf den Motor ein, wie bei der Seriendynamo.

3. Bei Compoundmaschinen erscheint die Wirkung beider vorbesprochener Maschinentypen vereint, und gibt eine reine Compoundmaschine eine constante Klemmenspannung bei constanter Tourenzahl und richtigen Maschinenverhältnissen.

5. Die Regulierung von Dynamomaschinen.

Im elektrischen Maschinenbetriebe wünscht man entweder die Klemmenspannung oder die Stromstärke constant zu halten [3]). Da nun die Änderungen dieser Größen, wie zuvor gesehen, durch die Änderungen der Tourenzahl einer Dynamo, u. zw. infolge starken Wechsels der Belastung bei ungenügendem Regulator oder Unregelmäßigkeit in der Bedienung, oder durch die Änderungen des äußeren Widerstandes herbeigeführt werden können, so gibt es auch mit Bezug auf diese Beeinflussungen zweierlei Mittel für die Regulierung von Dynamomaschinen. Dieselben beziehen sich auf:

a) die Einwirkung auf die Antriebsmaschine und

b) auf die Einwirkung auf die Dynamomaschine selbst.

Jedes dieser Mittel wird auf mannigfache Weise angewendet; ihre Ausführung basiert aber auf zwei verschiedenen Principien, u. zw.:

α) man benützt entweder die Einflüsse, welche eine Änderung der vorbezeichneten Stromgrößen herbeizuführen geeignet ist, schon beim Eintritte der-

---

[1]) Das Ampèremeter zeigt weniger.

[2]) Das Voltmeter steigt.

[3]) Die Arbeit ist $e\,i = P$. Je nach der Schaltungsart der Verbrauchsapparate (Parallel- oder Hintereinanderschaltung) wird entweder e oder i constant sein müssen, sonach P mit Änderung von i oder e variieren.

selben, um das thatsächliche Constanthalten der Klemmenspannung e oder der Stromstärke i zu erlangen, oder

β) man benützt jede Abweichung der constant zu haltenden Größe (e oder i), um auf einen Mess- oder automatischen Regulierapparat wirken zu können.

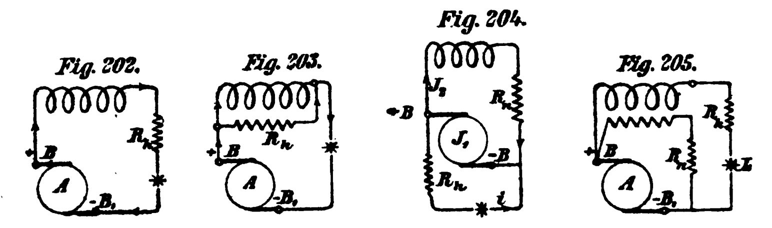
ad α) Das erstere Princip kann durch Anwendung von Compoundmaschinen oder durch directe Regulierung des Dampfzuflusses mittels entsprechender elektrischer Apparate ausgeführt werden.

Bei der Compoundmaschine Fig. 162, Seite 105 bewirkt z. B. jede Erhöhung des Widerstandes r sofort eine Änderung von i und damit eine Verminderung der magnetisierenden Kraft der Hauptstrombewicklung, welche Verminderung dadurch paralysiert wird, dass durch die Verstärkung von J_2 die Nebenschlussbewicklung kräftiger einwirkt und dadurch das magnetische Feld und damit die Inductionswirkung desselben (bei constanter Tourenzahl des Ankers) constant erhält. Wegen diesem Verhalten heißen diese Maschinen auch „selbstregulierende".

ad β) Dies kann geschehen:

1. durch Veränderung der magnetisierenden Kraft der Feldmagnete mit Hilfe von zugeschalteten variablen Widerständen oder sogenannten Widerstandsregulatoren (Rheostaten).

Bei der Hauptstrommaschine schaltet man die Maschinenrheostate — nach Figuren 202 und 203 — hinter die, oder parallel zur Feldmagnetbewicklung. Bei der Nebenschluss- und Compoundmaschine werden die Rheostate in den Nebenschlusstromkreis (Figuren 204 und 205) geschaltet. Die Ver-



änderungen im Widerstande werden dann entweder von einem Maschinenwärter nach Angabe der elektrischen Messinstrumente oder Signalapparate ausgeführt, oder aber es setzen die Dynamomaschine selbst den Reguliermechanismus in Bewegung (automatische Regulatoren). Die Wirkung der Rheostate ist folgende:

Bei der Hauptstrommaschine werden bei der Anordnung nach Fig. 202, durch das Zu- oder Ausschalten von Widerstand, die Größen E und i verkleinert, bezw. vergrößert. Das Entgegengesetzte geschieht bei der Schaltung nach Fig. 203.

Bei der Nebenschlussmaschine wird durch das Zu- oder Ausschalten von Widerstand in R_n, der Nebenschlusstrom J_2 verkleinert oder vergrößert; die Voltanzeige am Maschinenschaltbrett wird daher fallen oder steigen müssen. Gleichzeitig werden aber bei der Änderung des Widerstandes im Nebenschlussstromkreise auch die Verhältnisse im Hauptstromkreise geändert und es wird i im ersten Falle verstärkt, im zweiten Falle verringert, sonach die Ampère-

anzeige steigen oder fallen müssen. Hat man daher für irgend einen Apparat eine ganz bestimmte Leistung, sonach eine bestimmte Spannung und Stromstärke zu halten, so muss nebst der Regulierung im Nebenschlusstromkreise noch jene durch einen (Hauptstrom-) Rheostaten R_h im Hauptstromkreise erfolgen.

Compoundmaschinen würden als selbstregulierende, keine Widerstandsregulatoren benöthigen, doch gibt man ihnen im Hinblicke auf mögliche Tourenschwankungen, dann um die Wirkung der Erwärmung der äußeren Magnetbewicklung auszugleichen, sowohl im Hauptstrom-, als im Nebenschlusstromkreis einen Rheostaten (R_h und R_n).

2. Man kann auch durch das Verstellen der Bürsten entweder von Hand aus oder durch die Dynamomaschine selbst, die Maschine regulieren, indem hiedurch die elektromotorische Kraft geändert wird. Endlich können

3. verschieden construierte elektromagnetische oder elektrodynamische Apparate derart auf den antreibenden (Dampf- etc.) Motor einwirken, dass sie in dem constant zu haltenden Stromkreise eingeschaltet, eine Reguliervorrichtung am Motor bewegen.

6. Die Zusammenschaltung von Dynamomaschinen.

Die Dynamomaschinen können entweder hintereinander oder nebeneinander geschaltet werden.

a) Erstere Schaltung kommt bei der Schaltung auf Spannung vor, wie sie beim Drei- und Fünfleitersysteme [1]) üblich ist und kann auch für Kraftübertragungszwecke angewendet werden. Hintereinander zu schaltende Maschinen müssen für die gleiche Stromstärke gebaut sein. Die Pole der Maschinen wechseln in ihrer Aufeinanderfolge.

b) Bei der Parallelschaltung, wie sie z. B. bei den Küsten-Beleuchtungsapparaten, dann in größeren Beleuchtungsanlagen oder Centralen vorkommt, werden die Dynamomaschinen mit übereinstimmender Bewicklung mit den gleichen Polen aneinander geschlossen. Dieses Parallelschalten bezweckt eine Vergrößerung der Stromstärke und damit die Erzielung eines höheren Effectes, wie z. B. eines starken Bogenlichtes bei den Küstenbeleuchtungs-Apparaten. Man kann nun alle Gattungen von Maschinen parallel schalten; in der Praxis wird dies aber gewöhnlich nur für Serien- und Nebenschlussmaschinen ausgeführt.

α) Beim directen Parallelschalten von Seriendynamos können nun störende Einflüsse auftreten, deren Wirkung hier kurz erörtert werden soll.

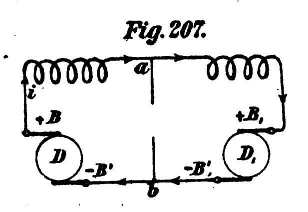
Fig. 206.

Angenommen, es seien in der Fig. 206, $D\,D_1$ zwei parallel zu schaltende Dynamos, deren elektromotorische Kräfte E, E_1 gleich groß sind, so wird der Strom (i und i_1) beider Maschinen bei a vereint durch die angedeutete Bogenlampe L gehen, ohne dass ein Stromübertritt von der Dynamo D nach D_1 oder umgekehrt stattfinden wird. Sind jedoch die elektromotorischen Kräfte E und E_1

[1]) Siehe den Abschnitt „Vertheilung".

ungleich groß, so wird ein Theilstrom von der stärkeren Maschine D in die schwächere D_1 eintreten und der Differenzstrom wird entsprechend der Differenz der elektromotorischen Kräfte und entsprechend dem äußeren Widerstande die Leitung der schwächeren Maschine im entgegengesetzten Sinne durchfließen, während über L wegen dessen relativ hohen Widerstandes nur wenig Strom fließen wird. Vollständig findet dieser Übertritt des Stromes von einer Maschine in die andere statt, wenn die Zuleitung zur Lampe L unterbrochen worden ist und die Maschinen dennoch im Betriebe bleiben. Bei genügend starkem Differenzstrom können nun die Feldmagnete der schwächeren Dynamo D_1 umpolarisiert werden, und es ist der beim Weiterlaufen der Maschine D_1 erzeugte Strom jetzt gerade entgegengesetzt jenem in der Maschine D. Man bekommt dann zwei hintereinander geschaltete Dynamomaschinen, wie dies die Fig. 207 andeutet. Beim Fortbetriebe erscheinen die beiden Maschinen, deren Widerstand sehr klein ist, nun kurz geschlossen und die Stromstärke wächst stark an. Die Maschinen erhitzen sich infolge dessen stark und man erhält außerdem im äußeren Stromkreise ein schlechtes oder gar kein Licht. Miller und Peukert haben gezeigt, dass nur eine geringe Differenz in den elektromotorischen Kräften (hervorgebracht z. B. durch ein Gleiten der Riemen) genügt, um völlig ungleichmäßige Beanspruchungen der Maschinen herzustellen. Bei Hauptstrommaschinen gibt z. B. eine Verschiedenheit von 5% in der schwächeren Maschine nur mehr den halben normalen, bei 13% gar keinen Strom mehr.

Fig. 207.



Ist die Differenz $(E_1 - E)$ noch größer, so wirkt die Maschine nur mehr als Elektromotor, d. h. sie wird von der anderen angetrieben. Schon bei 1% Differenz in den elektromotorischen Kräften verhalten sich die Belastungen, wie 1 : 0·86. Da es nun kaum möglich ist, zwei Dynamos von vollkommen gleicher elektromotorischen Kraft zu bauen, so würden diese Störungen bei Parallelschaltung der Serienmaschinen immer auftreten.

Um diesem Übelstande bei Serienmaschinen abzuhelfen, hat Gramme einen „Ausgleichsdraht“ $B\,A\,B_1$ (Fig. 206) angewendet, indem er diejenigen Bürsten $B\,B_1$, von welchen die Leitungen in die Elektromagnete führen, durch einen Draht $B\,A\,B_1$ von geringem Widerstande verbunden hat. Durch diesen Draht werden, wie eine einfache Betrachtung der Fig. 206 leicht ergibt, alle störenden Einflüsse ausgeglichen, bezw. das Hintereinanderschalten der Maschinen verhindert.

Ist also die elektromotorische Kraft der Maschine $D >$ als jene von D_1, so tritt entsprechend den Widerständen, an der Bürste B eine Stromtheilung ein, u. zw. in der Weise, dass der von B über a fließende Strom genau so stark, wie der von D_1 erzeugte ist. Der Stromüberschuss von D fließt aber durch den Ausgleichsdraht nach B_1 und von hier um die Magnete von D_1. Dadurch verstärkt dieser Differenzstrom das magnetische Feld in D_1 und vergrößert damit die elektromotorische Kraft der Dynamomaschine.

β) Nebenschlussmaschinen erlauben ohne Schwierigkeiten eine solche Schaltung. Sie bedürfen keinen Ausgleichsdraht. Man verbindet einfach die gleichnamigen Bürsten miteinander.

γ) Bei Compoundmaschinen verbindet man die gleichnamigen Bürsten und die äußeren Enden der Magnetbewicklungen.

Bezüglich des Betriebes parallel geschalteter Maschinen ist noch zu bemerken, dass man entweder sämmtliche Dynamos gleichzeitig [1]) oder nacheinander parallel schaltet, bezw. in oder außer Betrieb setzt. Im ersteren Falle erfolgt die Regulierung der Maschinen gleichzeitig und gleichmäßig; im zweiten Falle muss die zuzuschaltende Dynamo erst auf die normale Betriebsspannung gebracht und dann erst auf den Lampenstromkreis geschaltet werden. Die Stromleistung soll bei parallel geschalteten Maschinen gleichmäßig auf sämmtliche Maschinen vertheilt sein, daher diese entsprechend zu regulieren sind. Sind alle Maschinen gleichmäßig belastet, dann werden sämmtliche Regulatoren gemeinsam bedient.

Soll von mehreren nebeneinander geschalteten Maschinen eine ausgeschaltet werden, so wird zuerst der Anker durch Änderung der Klemmenspannung stromlos gemacht und sodann die Maschine ausgeschaltet. Bei großen Anlagen (Centralen) verwendet man zum Ein- und Ausschalten neuer Maschinen sogenannte „Lampenbatterien“, d. i. ein Widerstand aus Glühlampen (oder auch aus Spulen) gebildet, mit welchen man die einzuschaltende Maschine früher belastet, ehe sie zugeschaltet wird.

7. Betriebsführung.

Der Betrieb selbst umfasst das Ingangsetzen der Dynamo. Hiezu ist zu beachten:

Äußerliche Überprüfung aller Maschinenbestandtheile (Inductor, Collector, Bürsten, Feldmagnete), sowie aller Verbindungen; richtige Bürsteneinstellung beim Leerlaufe (Ort und guten Contact). Sind die Verbrauchsapparate einzuschalten, so wird bei Erreichung normaler Geschwindigkeit zuerst die erforderliche Spannung hergestellt, dann die Anschaltung der Verbrauchsapparate successive durchgeführt und sodann entsprechend dem Stromverbrauche Stromstärke und Spannung nach Angabe der Messapparate, wie schon Seite 130 beschrieben, den verschiedenen Dynamotypen entsprechend reguliert, sowie die Bürsten entsprechend der Belastung richtig eingestellt.

Im Betriebe geben der Tourenzähler einerseits, das Ampère- und Voltmeter anderseits, die Anhaltspunkte für den richtigen Betriebszustand. Zu beachten ist, dass die Zu- oder Ausschaltung von Verbrauchsapparaten (also die Änderung des äußeren Widerstandes, siehe Seite 128) den Gang der Maschine, sowie die elektrischen Größen verändert, daher entsprechend nachzuregulieren ist.

Das Außerbetriebsetzen geschieht am einfachsten durch das Abstellen des Motors, u. zw. soferne solches zulässig ist, sonst durch Bethätigung der Ausschalter für die einzelnen Stromkreise bei gleichzeitiger Handhabung der Regulierapparate.

8. Betriebsstörungen bei den Dynamomaschinen.

Beim Betriebe elektrischer Maschinen können bei schlechter Betriebsführung, schlechter Conservirung etc., eine Reihe von Störungen auftreten,

[1]) Bei den Küsten-Beleuchtungsapparaten, dann bei der Schiffsvorfeldbeleuchtung.

welche oft den Betrieb in empfindlicher Weise zu beeinträchtigen oder ihn ganz zu unterbrechen vermögen. Im nachfolgenden sollen von den mannigfachen Störungen nur jene herausgegriffen werden, welche am häufigsten vorkommen können.

Im allgemeinen äußert sich ein schlechter Zustand schon nach außen dadurch, dass die Verbrauchsapparate schlecht oder nicht functionieren, die Messapparate schlecht oder unregelmäßig anzeigen, also bei normaler Tourenzahl ungenügende elektrische Leistungen angeben, endlich sich eine merkbare Erwärmung einzelner Maschinenbestandtheile oder ein starkes Feuern der Bürsten, sowie ein anormaler Lauf der Dynamomaschine zeigt.

Die Fehler können nun bestehen:

A. in Leitungsfehler, u. zw.

a) in Unterbrechungen der Anker- und Feldmagnetbewicklungen (Drahtbrüche, schlechte Löthstellen, ganz ungenügenden Contact der Drähte mit dem Collector und etwaigen Stromklemmen), der Bürsten am Collector u. dgl.;

b) in Querschnittsverminderungen der Drähte (durch Anriss) oder der Contacte, endlich

c) in Isolationsfehlern, hervorgerufen durch schlechte Isolation der Wicklungsdrähte gegeneinander (Kurzschluss) oder gegen das Eisengerüst (Körperschluss), sowie durch schlechte Isolation des Collectors gegen das Maschinengestelle, als auch der Lamellen untereinander, dann der Bürsten, der Verbindungsklemmen etc.

Bei ersteren ad *a*) zeigen sich keine, bei den Fehlern ad *b*) nur schwache Funken an dem Collector. Die Anzeige der Messapparate ist eine schwache; Isolationsfehler ad *c*) bewirken je nach der Art und dem Orte ihres Vorkommens nur schwache Funken (wie z. B. der Kurzschluss in einem Magnetschenkel), oder aber sie rufen ein starkes Feuern der Bürsten (wie z. B. beim Kurzschluss oder bei Unterbrechungen im Anker, oder zwischen den Maschinenklemmen), sowie eine Verlangsamung des Ganges der Maschine hervor. Kurzschlusstellen erhitzen sich gleich allen Stellen mit Querschnittsverminderungen sehr stark und kann die Erwärmung so hoch steigen, dass der Bestand der Maschine gefährdet wird. Man muss in solchem Falle die Maschine abstellen und vor erneutem Angehen den Fehler vorerst beheben lassen. Brüche im Anker zeigen überdies starke Schwankungen des Voltmeters, während am Collector sich beim Passieren der fehlerhaften Spule an den Bürsten umlaufende Funken zeigen. Die Kurzschlusstelle wird leicht dadurch gefunden, dass das zugehörige Segment am Collector stärker, wie alle übrigen verbrannt ist. Beim Kurzschluße der Maschinenklemmen würde das Ampèremeter beträchtlich steigen.

B. Kann der remanente Magnetismus der Feldmagnete so schwach sein, dass die Maschine nicht angeht, also sich nicht erregt. Man schließt in diesem Falle, der durch Annäherung eines Eisenstückes an die Polschuhe leicht ermittelt werden kann, die Maschine an ihren Klemmen durch einen Draht durch ein paar Secunden kurz. Eventuell kann man die entmagnetisierte Dynamo durch einen Batteriestrom (eventuell durch Accumulatoren) magnetisieren. Es kann jedoch dieser Fehler durch eine schlechte Schaltung der Wicklungsdrähte oder durch schlechte Contacte (z. B. im Nebenschluss) hervorgebracht werden, was zuerst wahrzunehmen ist.

C. In ungenügendem Antriebe des Ankers (Gleiten des Riemens) oder in schlechtem Functionieren des Geschwindigkeitsregulators.

D. In plötzlichen Über- oder Entlastungen, und endlich

E. in schlechter Construction der Dynamomaschine überhaupt.

10. Untersuchung einer Dynamomaschine.

Zeigen die unter 9) beschriebenen Erscheinungen (starker Abfall von Stromstärke und Spannung bei normaler Tourenzahl, anormaler Gang der Maschine, starke Funkenbildung am Collector, Erwärmung einzelner Theile etc.) beim Angehen oder im Betriebe der Maschine einen fehlerhaften Zustand einer Dynamo an, so muss diese vor ihrer weiteren Verwendung untersucht werden, um die Fehlerquelle aufdecken und beheben zu können.

Oft genügt schon der zuerst einzuschaltende äußere Beschau der Dynamo, um den Fehlerort zu entdecken. Durch Absuchen aller Verbindungsstellen, Nachsehen am Collector, von Bürsten, Polbrettern, durch Befühlen der Wicklungen mit der Hand u. s. w. wird es meist gelingen, schon äußerlich den Fehlerort zu bestimmen.

Ergibt jedoch die äußere Beschau keine Fehlerquelle und zeigt ein (nach der Revision) vorgenommener erneuter Betrieb noch immer ein schlechtes Functionieren der Dynamo, so muss diese systematisch mit Hilfe von Leitungs- oder Isolationsprüfern untersucht werden.

Diese systematische Untersuchung wird je nach der verschiedenen Ausgestaltung der Dynamos verschieden sein; sie lässt sich jedoch im allgemeinen nach folgenden Gesichtspunkten durchführen.

a) Untersuchung der Continuität der Leitungen, indem man zuerst jenen des Gesammtstromkreises der Maschine, dann jene der einzelnen Theile (Inductor, Feldmagnete, Collector, Bürsten etc.) untersucht.

b) Untersuchung der Isolation der Maschine. Die Isolation kann qualitativ und quantitativ bestimmt werden. Erstere Bestimmung kann durch Anwendung von Leitungs- oder Isolationsprüfern im stromlosen Zustande der Maschine, dann von Galvanometern (Voltmeter) oder Glühlampen ausgeführt werden. Letztere Untersuchung fasst die Messung von Widerständen in sich, welche praktisch mit Hilfe eines Voltmeters und einer starken Batterie, oder einer zweiten Dynamo, meist aber mittels Widerstands-Messapparaten ausgeführt wird. Der allgemeine Vorgang besteht dann, analog wie bei *a*), in der Trennung der Maschinenbestandtheile (Ankerbewicklung, Magnetbewicklung, Collector, Bürsten etc.) und Untersuchung dieser Theile für sich (also z. B. Bestimmung der Isolation der Feldmagnet- und der Ankerbewicklungen gegeneinander, als auch gegen den Eisenkern, oder gegen die Achse, bezw. gegen das Gerüste der Maschine; Isolation des Collectors, der Bürsten, der Polklemmen gegen die Eisenbestandtheile u. dgl. m.).

Da die Isolation der Maschine schon bei ihrer Ausfertigung gemessen wird, so wird die erneute Messung der fehlerhaften Dynamo quantitativ die Fehlergröße nachweisen lassen. Der praktische Vorgang bei den Continuitäts- und Isolationsuntersuchungen ist ähnlich jenem, welcher noch ausführlich bei den Leitungen beschrieben wird.

II. Die Wechselstrommaschinen.

A. Allgemeine Theorie des Wechselstromes.

1. Princip des einfachen Wechselstromes.

Bei der Leiterbewegung in Fig. 137, Seite 96, hat sich gezeigt, dass im zweipoligen magnetischen Felde während einer Umdrehung des Ringes R um den Punkt O Inductionsströme entstehen, welche für die Lagen von 0° bis 180° und 180° bis 360° entgegengesetzten Richtungssinn besitzen. In den Lagen R_1 und R_5 (0° und 180°, d. h. in den sogenannten neutralen Lagen) treten zwei Stromwechsel auf. Es muss daher der Leiterkreis in diesen Lagen stromlos sein, weil der Übergang von der (+) zur entgegengesetzten (—) Richtung nur durch die Nullage erfolgen kann.

Die Stärke der Inductionsströme ist in den einzelnen Lagen proportional der Änderung (Zu- und Abnahme) der die Leiterfläche treffenden Kraftlinien. Letztere Änderung ist wieder proportional dem Sinus des Drehwinkels, und es lässt sich, wie bereits Seite 97 erörtert, bei continuierlicher Drehung des Ringes mit gleichförmiger Geschwindigkeit in einem homogenen magnetischen Felde sowohl die elektromotorische Kraft, als auch die Stromstärke als eine Sinus- (oder Wellen-) Linie (Fig. 138, Seite 97) darstellen. Bei jeder Drehung des Ringes um 360°, entstehen in demselben zwei abwechselnd entgegengesetzt gerichtete Ströme, welche durch entsprechende Verbindung mit zwei von einander isolierten Ringen (Fig. 209), in der äußeren Leitung einen Wechselstrom erzeugen.

Auf diesem Principe basieren nun die Wechselstrommaschinen, bei welchen jedoch stets mehrfache magnetische Felder (also mehrere Elektromagnete) und ebenso viele rotierende Spulen (oder eine Armatur) vorhanden sind.

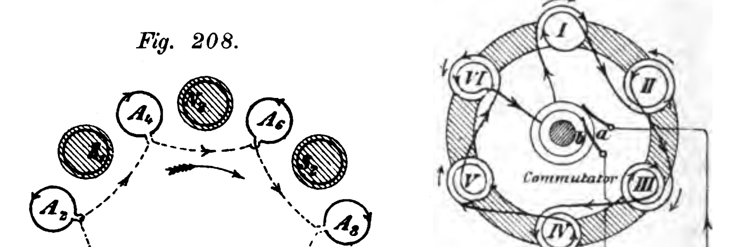


Fig. 208.

Fig. 209.

Um die Wirkung einer Wechselstrommaschine zu erklären, sei angenommen, es versinnlichen die Pole N_1 S_1 N_2 S_2, N_3 S_3 (Fig. 208) u. s. f. eine Reihe magnetischer Felder, welche eine Reihe ebensolcher Pole gegenüber stehen haben (in der Zeichnung aber nicht sichtbar dargestellt worden sind). Vor diesen Polen, bezw. zwischen den magnetischen Feldern gleicher Intensität, bewege sich — der Einfachheit halber, — eine einzige Windung A einer Spule mit gleichmäßiger Geschwindigkeit; es wird sodann,

wenn die Windung in der Richtung des Pfeiles aus der Lage A_1 sich in die Lage A_2 A_3 u. s. f. bewegt, dieselbe der Sitz von elektromotorischen Kräften sein, welche jeweilig in der Windung einen Stromimpuls hervorrufen, dessen Größe und Richtung sich periodisch ändert.

Nach dem, was bereits vorausgeschickt worden ist, ist sonach erklärbar, dass diese, die Spule durchkreisenden Stromimpulse bei ihrer kreisförmigen Bahn entweder im Sinne der Uhrzeigerbewegung (direct oder positiv) oder entgegengesetzt dieser Bewegung (indirect, invers oder negativ) verlaufen, wie dies auch die Fig. 209 andeutet. Dasselbe tritt ein, wenn nicht nur eine Windung oder eine Spule, sondern eine ganze Reihe von sich bewegenden Spulen I—VI (Fig. 209) oder eine Armatur vorhanden ist, u. zw. müssen immer ebensoviel Spulen vorhanden sein, als es magnetische Felder gibt. Sollen sich nun die in den einzelnen Spulen inducierten elektromotorischen Kräfte addieren, so müssen sie entsprechend der Fig. 208 und 209 verbunden werden. Der Anfang der ersten und das Ende der letzten Spule werden sodann an je einen der auf der Axe sitzenden Metallringe a, b angeschlossen. Auf diese beiden von einander isolierten Ringe schleifen die zur Außenleitung führenden Bürsten oder Stromabnehmer [1]).

In der gleichen Weise, wie beim zweipoligen magnetischen Felde, lässt sich die in jedem Momente der Bewegung, in den Spulen inducierte elektromotorische Kraft auch beim mehrfachen Felde als eine periodische Function der Zeit der Bewegung darstellen, u. zw. so, dass sie in jedem Momente der Bewegung (also von 0° bis 360°) im allgemeinen verschiedene Werte besitzt, welche nach Ablauf eines bestimmten Zeitabschnittes wieder den gleichen Wert bei gleichem Vorzeichen erlangt. Wir bekommen, wenn wir in Fig. 138 die Zeit $t = 0$, $^1/_2\,\pi$, π, $^3/_2\,\pi$, $2\,\pi$ u. s. f. als Abscisse, die während dieser Zeit inducierte elektromotorische Kraft, oder aber die Intensität des inducierten Stromes, als Ordinate auftragen, wieder eine Sinuslinie (Spannungs-, bezw. Stromcurve E und J).

Man nennt nun diejenige Zeit, welche nothwendig ist, damit die elektromotorische Kraft oder der Strom wieder den nämlichen Wert bei gleichem Vorzeichen erreicht, die „Zeitdauer einer Periode (T)“ oder die „Dauer einer Oscillation“.

Beim zweipoligen magnetischen Felde ist dies die Dauer einer vollständigen Umdrehung, also mit zwei Stromwechseln. Bei der Wechselstrommaschine, wo ein mehrfaches magnetisches Feld vorhanden ist, z. B. $2m$ Magnetpole, welche m magnetische Felder geben, entfallen auf eine Umdrehung einer Armatur, m Stromwechsel oder $\frac{m}{2}$ Perioden.

„Frequenz“ oder Windungsgeschwindigkeit nennt man die Zahl der Perioden pro Secunde, welche Zahl sehr verschieden sein kann. Man hat Wechselströme mit 40, 100 etc. Perioden in der Secunde.

---

[1]) Man kann jedoch auch die Spulen nebeneinander verbinden, wodurch man bei geringer elektromotorischer Kraft die Stromstärken der Spulen addieren kann.

Sind Z die Zahl der Stromwechsel pro Secunde, T die Zeitdauer einer Periode, so ist bei n Umdrehungen

$\frac{m.n}{2} T = 1$ und die „Stromwechselzahl" $Z = mn = \frac{2}{T}$.

Nach vorstehender Erörterung stellt also der Wechselstrom sich ebenfalls als eine continuierliche Fortleitung der Elektricität dar, und es ist deshalb nothwendig, die für einen solchen elektrischen Strom grundlegenden Größen: die elektromotorische Kraft, Stromstärke und Widerstand wieder näher zu betrachten.

2. Die elektromotorische Kraft.

Nach der Seite 97 gegebenen Erklärung besitzt die elektromotorische Kraft einen periodischen Verlauf; sie ändert sich also mit der Zeit der Bewegung.

So wird, nach der Fig. 137, zur Zeit $t = 0$ die Spule R sich z. B. in der Lage R_1 befinden; zur Zeit $t = \frac{T}{4}$ in R_3, für $t = \frac{T}{2}$ in R_5, $t = \frac{3T}{4}$ in R_7 und für $t = T$ wieder in R_1.

Die Induction ist ein Maximum für $t = \frac{T}{4}, \frac{3T}{4}$ und ist Null für $t = 0, \frac{T}{2}$ und T.

Nimmt man beim zweipoligen magnetischen Felde an, dass während der gesammten Periode ein Weg (gleich dem Kreisbogen) ω zurückgelegt wird, und denken wir uns zur Vereinfachung, dass der Halbmesser der Spulenbewegung $= 1$ ist, sonach $\omega = 2\pi$ wird, so entspricht

der Zeit $t = 0$ der Weg 0
„ „ $t = \frac{T}{4}$ „ „ $\frac{\pi}{2}$
„ „ $t = \frac{T}{2}$ „ „ π und
„ „ $t = T$ „ „ 2π,

allgemein sonach: „ „ t, „ „ $t\omega = 2\pi\frac{t}{T}$ (d. i. der von der Spule zurückgelegte Weg).

Unter Zugrundelegung des Sinusgesetzes wird

$$E = E_0 \sin \frac{2\pi t}{T} = E_0 \sin \omega t,$$

worin E_0 (Fig. 211) die Amplitude der Wellenlinie darstellt.

Bei den Wechselstrommaschinen hängt nun die elektromotorische Kraft E von der Stärke der magnetischen Felder, von der Zahl der hintereinander geschalteten Ankerwindungen und von der Frequenz ab. Es können aber auch Wechselströme, welche gleiche Amplituden und Perioden haben, noch von einander verschieden sein.

Besitzt nämlich E, wie in Fig. 210 gezeichnet, einen anderen Beginn (z. B. wie die Curve I oder II), so wird im ersteren Falle die Curve II der Curve E voraneilen, Curve I aber nacheilen. Ist der Zeitbetrag, um welche I oder II gegenüber E vor- oder nacheilt, in beiden Fällen τ, so wird der analytische Ausdruck für E im ersteren Falle $E = E_0 \sin \frac{2\pi}{T}(t + \tau)$ sein, wobei die Linie II in der Zeichnung „zurück", in der Bewegungsphase aber „voraus" erscheint. Im zweiten Falle wird $E = E_0 \sin \frac{2\pi}{\tau}(t - \tau)$ sein.

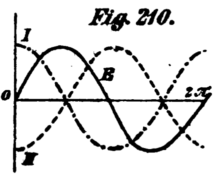


Fig. 210.

Diese drei Linien stellen also Wechselströme gleicher Periode und Amplitude dar, sind aber dennoch verschieden, da ihre „Schwingungsphasen" (oder die augenblicklichen Zustände) verschieden sind. Die Curven liegen um eine gewisse Schwingungsdauer τ auseinander. In der Fig. 210 erscheint I und II gegenüber E verschoben, und deshalb spricht man üblich von einer Phasenverschiebung (oder Phasendifferenz τ).

Fig. 211.

Die periodisch variable, elektromotorische Kraft E kann man nun innerhalb einer halben Periode durch eine gleichförmige ersetzen, wenn man sich die Fläche $AE_0B = F$ (Fig. 211) durch ein Rechteck gleichen Flächeninhaltes $ABCD$ ersetzt denkt.

Da im ersteren Falle

$$F = 2\,E_0 \int_{t=0}^{t=\frac{T}{4}} \sin 2\pi \frac{t}{T} d\,t = E_0 \frac{T}{\pi},$$

anderseits
$$F = \frac{T}{2} M(E) \text{ ist,}$$

wird sonach die „mittlere elektromotorische Kraft" $AD = M(E)$,

$$M(E) = \frac{E_0 \frac{T}{\pi}}{\frac{T}{2}} = E_0 \frac{2}{\pi} = 0{\cdot}636\ E_0 \text{ sein.}$$

Umgekehrt wird die maximale elektromotorische Kraft E_0 erhalten, wenn man die mittlere elektromotorische Kraft mit $\frac{\pi}{2}$ multipliciert; es ist also

$$E_0 = \frac{\pi}{2} M(E) = 1{\cdot}57\ M(E).$$

Beispiel. Beträgt die mittlere elektromotorische Kraft $M(E) = 100$ Volt, so wird die elektromotorische Kraft von Null bis 157 Volt variieren.

Diese Variation ist auch der Grund, warum z. B. Wechselstrombogenlampen weniger Spannung als Gleichstrombogenlampen erfordern. Die mittlere Spannung braucht, da die Kohlentheilchen bei den Stromunterbrechungen eine Brücke bilden und derart den Stromübergang herstellen, nicht so groß zu sein,

wie bei den Gleichstromlampen. Während z. B. eine Gleichstromlampe 50 Volt Klemmenspannung erfordert, hat eine Wechselstromlampe nur $50 \times 0{\cdot}64 = 32$ Volt nothwendig.

Die Anzeige der Instrumente zum Messen der elektromotorischen Kräfte hängt aber nicht von diesem Mittelwerte $M(E)$, sondern von dem „Mittelwerte der Quadrate der elektromotorischen Kräfte innerhalb einer halben Periode $M(E^2)$ ab. Diese in der Fig. 212 dargestellt, gibt eine Curve ABC, bei welcher die negativen Werte der Figur ebenfalls positiv erscheinen müssen. Denkt man sich die Fläche ABC wieder durch ein Rechteck ersetzt, so bekommt man die „gemessenen Mittelwerte des Quadrates der elektromotorischen Kraft“ $M(E^2)$ und hieraus als Quadratwurzel die „gemessene, mittlere, elektromotorische Kraft“, d. i. also die „wirkliche“ elektromotorische Kraft (efficace) des Wechselstromes.

Fig. 212.

$$E^1 = \sqrt{M(E^2)}.$$

Weil nun $M(E^2) . \frac{T}{2} = \int_0^{\frac{T}{2}} E^2 \, dt$ sein muss, wird, wie leicht abzuleiten,

$$E^1 = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}7 \, E_0 \text{ sein.}$$

Das Verhältnis dieser gemessenen elektromotorischen Kraft E^1 zur mittleren $M(E)$,

$$E^1 : M(E) = \frac{E_0}{\sqrt{2}} : \frac{2}{\pi} E_0,$$

ergibt $E^1 = 1{\cdot}11 \, M(E)$ oder $M(E) = 0{\cdot}90 \, E^1$.

Beispiel. Angenommen, es sei ein Wechselstrom vorhanden, dessen Amplitude $E_0 = 10$ Volt entspricht.

In diesem Falle ist $E^1 = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = 7{\cdot}07$ Volt. Dies stimmt aber nicht mit dem Werte $M(E)$, da dieser $M(E) = \frac{2 \, E_0}{\pi} = 6{\cdot}37$ Volt ist.

Es gibt sonach E^1 einen größeren Wert an, als $M(E)$.

Da der Wechselstrom von der Spannung E^1 im Spannungsmesser den gleichen Ausschlag bewirkt, wie ein Gleichstrom von 7 Volt, so zeigen die mit Gleichstrom geaichten Wechselstromapparate eine größere Spannung an, als jene ist, welche der wirkliche Wechselstrom besitzt.

3. Die Mittel zum Messen der elektromotorischen Kraft.

Für Wechselstrom verwendet man ein als Voltmeter eingerichtetes Dynamometer oder ein Elektrometer. Da jedoch ersteres bei Stromverzweigungen nicht angewendet werden kann, weil die Inductionswirkungen der Dynamometerwindungen die Stromverhältnisse in den Zweigleitungen beeinflussen, so benützt man für genauere Messungen das Elektrometer, dessen Ablenkung

proportional dem Quadrate der Potentialdifferenz zwischen den Punkten AB (Fig. 213) einer Leitung ist; es ist $\delta = \alpha \,.\, M(E^2)$, wobei α eine dem Instrumente zugehörige Constante ist.

Fig. 213.

Ist der Widerstand ς zwischen A und B inductionsfrei, so ist $M(i^2) = \frac{1}{\varsigma^2} M(E^2)$.

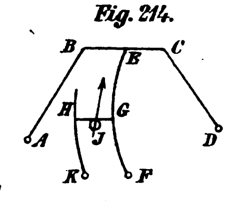
Unter der letzteren Voraussetzung lässt sich das Instrument auch zur indirecten Messung von Wechselströmen verwenden.

Für die Messung sehr hoher Spannungen empfiehlt sich Thomson's elektrostatisches Voltmeter, das aus einem Luftcondensator besteht, dessen Capacität durch die Veränderung der Plattenentfernung variabel ist. Es sind bei diesem Apparate zwei feste und eine bewegliche Platte vorhanden, welche mit den Punkten A bezw. B verbunden werden. Die bewegliche Platte sucht sich so zu bewegen, dass die Capacität erhöht wird. Die Anziehungskraft ist dem Quadrate der Spannungsdifferenz proportional. Sie wird durch ein Gegengewicht ausbalanciert. Ein Zeiger gibt auf einer Scala den entsprechenden Wert an.

Für praktische Messungen sind die vorangeführten Apparate weniger geeignet. Für diese Zwecke ist das Voltmeter von Cardew, welches Seite 56 bereits beschrieben worden ist, das gebräuchlichste Mittel. Der Messumfang beträgt 170 Volt.

In der Technik wendet man weiters technische Voltmeter an, welche Galvanometer mit weichem Eisen sind und welche analog jenen für Gleichstrom construiert werden. Sie werden hinsichtlich ihrer Angaben mit einem Elektrometer empierisch geaicht. Die für Wechselstromanlagen verwendeten Gleichstrom-Spannungsmesser weichen bei verschiedener Stromwechselzahl jedoch stark von dem wirklichen Stromwerte ab, was daher zu berücksichtigen ist.

Fig. 214.



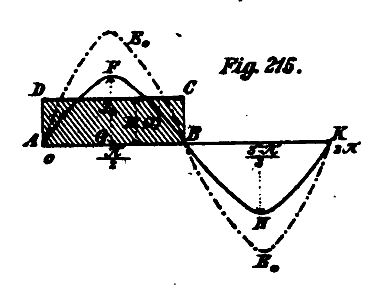
In neuerer Zeit sind vielfach die „Hitzdraht-Voltmeter" in Verwendung gekommen, welche im Wesen das Princip der Cardew-Voltmeter haben, also auch die Längenänderung eines von dem Strom durchflossenen Drahtes $ABCD$ (Fig. 214) anzeigen. Ein Faden EF wird mittels einer Feder HK und eines über die Rolle J geschlungenen Fadens HG gespannt. Wird der Draht $ABCD$ vom Strome durchflossen, so wird er schlaff und entsprechend dieser Längenänderung bewegt die Feder die Rolle und den damit verbundenen Zeiger. Ein inductionsfreier Zusatzwiderstand ist mit dem Hitzdraht in Serie geschaltet. Das ganze Instrument hat im Gegensatze zu der unbequemen Form des Cardew-Voltmeters eine sehr compendiöse Dosenform. Das Hitzdraht-Voltmeter ist mit derselben Scala, sowohl für Gleichstrom, als auch für jede Art von Wechselstrom verwendbar.

4. Die Stromstärke.

Ist eine Wechselstrommaschine, welche dem Sinusgesetze folgt und welche eine vernachlässigbare Selbstinduction besitzt, durch einen äußeren Widerstand R, u. zw. ohne Selbstinduction geschlossen, d. h. ist ein Armaturstrom

vorhanden, so würde analog dem Ohm'schen Gesetze für jeden Augenblick

$$J = \frac{E}{R} = \frac{E_0}{R} \sin 2\pi \frac{t}{T}$$



sein, wenn R der Gesammtwiderstand des Stromkreises und E die in jedem gegebenen Augenblicke inducierte, elektromotorische Kraft ist.

Aus der Formel ersieht man leicht, dass bei der schon gemachten Voraussetzung der Verlauf des Stromes wieder ein periodischer sein wird, und dass J sich ebenfalls durch eine Sinuscurve (Fig. 215) darstellen lässt, welche natürlich eine andere Amplitude als jene für E besitzt.

Die Gleichung für diese Wellenlinie wird sodann analog jener für E sein:

$$J = J_0 \sin \frac{2\pi t}{T} = J_0 \sin \omega \, . \, t.$$

Ersetzt man in der Fig. 215 die Fläche $OFB = 2\int_{t=0}^{\frac{T}{4}} J dt$ durch ein Viereck vom gleichen Flächeninhalt $ADBC$, so wird analog, wie unter 2. die „mittlere Stromstärke“

$$M(J) = \frac{2}{\pi} J_0 = 0{\cdot}636\, J_0 \text{ und } J_0 = 1{\cdot}57\, M(J) \text{ sein.}$$

Ebenso wird, da die Messinstrumente nicht die eigentliche „mittlere Stromstärke“, sondern den „Mittelwert des Quadrates der Stromstärken“ $M(J^2)$ innerhalb einer halben Periode anzeigen, die Quadratwurzel aus diesen Mittelwerten, die „gemessene, mittlere Stromstärke“ darstellen. Diese ist

$$J^1 = \frac{J_0}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}7\, J_0.$$

Ferner wird $J^1 = 1{\cdot}11\, M(J)$ und $M(J) = 0{\cdot}9\, J^1$ sein.

5. Mittel zum Messen der Stromstärke.

Beim Wechselstrome sind Messapparate mit permanenten Magneten nicht anwendbar, weil die Nadel oscillierend abgelenkt wird.

Hingegen können Apparate, welche Kerne aus weichem Eisen besitzen, für die Messungen beim Wechselstrom benützt werden, da dieselben mit dem Stromwechsel auch ihre Polarität wechseln und die Beeinflussung derselben sonach dieselbe, wie jene durch den Gleichstrom ist.

Am zweckmäßigsten eignet sich die elektrodynamische Wirkung zwischen Stromleitern zur Messung der Stromstärke, und man unterscheidet je nachdem das Drehmoment der elektrodynamischen Wirkung durch das Drehmoment einer Feder oder eines Gewichtes ausgeglichen wird, die Torsions-Dynamometer und die elektrodynamischen (oder Strom-) Waagen. (Siehe deren Beschreibung Seite 50.)

Da bei diesen Apparaten die fixen und beweglichen Spulen von demselben Strom durchflossen werden, ändert sich in beiden Spulen die Stromrichtung gleichzeitig und es bleibt die Kraftäußerung dieselbe.

Zu bemerken ist noch, dass beim Wechselstrom die örtliche Aufstellung der Apparate gleichgiltig ist, da der Erdmagnetismus keinen Einfluss auf dieselben ausübt. Die Constante des Dynamometers wird durch Aichung mittels Gleichstrom bestimmt.

Die Torsionsdynamometer lassen einen Messbereich von 0·0001 Ampère bis 100 Ampère zu. Sie können auch zur indirecten Strommessung verwendet werden, doch muss man in diesem Falle die Selbstinduction berücksichtigen. Diese Apparate haben den Nachtheil, dass sie einer complicierteren Aufstellung bedürfen und mit Gleichstrom geaicht werden müssen, ferner dass sie nicht ohneweiters die Kraftäußerung zwischen fixer und beweglicher Spule ablesbar geben.

Die Stromwaagen sind hingegen so beschaffen, dass man direct die Kraft berechnen kann, welche zwischen fixer und beweglicher Spule statthat. Sie eignen sich daher sehr gut zur Ausführung absoluter Messungen, wie z. B. die absoluten Dynamometer von Pellat u. dgl. m.

Für die Praxis wendet man technische Strommesser oder Ampèremeter an, das sind Galvanometer, welche weiches Eisen enthalten und mit dem Elektrodynamometer geaicht werden.

Die Ampèremeter für Wechselstrom sind ähnlich jenen für Gleichstrom construiert; beruhen also auch zumeist auf die elektromotorischen Wirkungen des Stromes, jedoch wendet man zur möglichsten Verringerung der Foucault'schen Ströme keine massiven, sondern untertheilte Eisenkerne an. Die Ampèremeter werden empierisch durch Vergleichung mit einem Elektrodynamometer geaicht und gelten selbstverständlich nur für jenen Wechselstrom, für den sie geaicht wurden.

Die bereits erwähnten Hitzdraht-Voltmeter werden nach dem Princip der indirecten Strommessung (Seite 51) zur Ermittlung der Stromstärke verwendet. Zu diesem Behufe befindet sich im Gehäuse des Instrumentes ein hinreichend dimensionierter, inductionsfreier Widerstand, von dessen Enden die Voltmeterleitungen abzweigen. Das Instrument, welches den Namen „Hitzdraht-Ampèremeter“ führt, wird empierisch geaicht, gilt sodann sowohl für Gleichstrom als auch für jede Art von Wechselstrom.

6. Der Widerstand.

Dieser kann ein verschiedener sein, u. zw. je nachdem er von einem inductionsfreien Leiter oder von einem Leiter mit Selbstinduction gebildet wird. Im ersteren Falle (z. B. bei Leitungen mit Glühlampen) spielt nur der Ohm'sche Widerstand eine Rolle, während im zweiten Falle (wo z. B. Spulen mit Eisenkernen vorhanden sind) zum Ohm'schen Widerstande noch die Widerstandsvermehrung durch die Selbstinduction hinzukommt, indem, wie die später gegebenen Erörterungen zeigen, die Selbstinduction wie ein energieloser Widerstand wirkt. Die Selbstinduction nimmt mit der Größe des Selbstinductions-Coëfficienten und mit der Stromwechselzahl zu. In welcher Weise sich bei Vorhandensein beider Arten von Widerständen nun der Gesammtwiderstand

gestaltet und in welchem Zusammenhange der Widerstand zu den früher genannten zwei Stromgrößen steht, wird in der Folge erörtert werden.

Bemerkt sei hier nur noch, dass die Selbstinduction beim Wechselstrom eine wichtige Rolle spielt und sie selbst beim geraden Leiter verschiedener Querschnittsformen verschiedenen Einfluss äußert.

Circuliert in einem geraden, cylindrischen Leiter ein periodischer Strom, so ist die Dichte des Stromes im Querschnitte des Leiters nicht constant. Sie ist größer am Umfange, als in der Mitte. Um dies zu begründen, kann man sich vorstellen, dass der Strom aus unendlich vielen, parallel zu einander verlaufenden Stromfäden besteht, welche aufeinander einwirken. Infolge der gegenseitigen Reactionen sind diese dort am stärksten, wo die Fäden am dichtesten sind; hieraus resultiert, dass die Strominduction am stärksten in der Mitte und am kleinsten an der Oberfläche sein wird. Infolge dessen sind auch rechteckige oder aus Drahtbündel erzeugte Leiter für den Wechselstrom günstiger als runde und volle Leiter. In concentrischen Kabeln ist die Selbstinduction aufgehoben, daher man diese meist für Wechselstromleitungen in Lichtanlagen verwendet.

Die Inductionswirkung in einem Leiter ist aber noch größer, wenn er magnetische Eigenschaften besitzt (er z. B. aus einem Eisendraht besteht), weshalb man solche Leiter für Wechselstromleitungen stets vermeidet.

B. Stromgesetze für den einfachen Wechselstrom.

Dieselben sind für den Wechselstrom nicht so einfach, wie jene für den Gleichstrom, und besitzen die Gesetze für den letzteren, beim Wechselstrome nur beschränkte Giltigkeit. Den wesentlichen Einfluss übt eben die Selbstinduction aus, welche Anlass zu wesentlich anderen Gesetzmäßigkeiten gibt. Analog dem beim Gleichstrome beobachteten Vorgange soll zunächst erörtert werden:

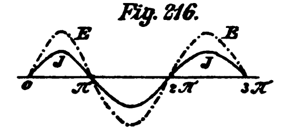
a) Der einfach geschlossene Stromkreis.

α) Findet in einem Stromkreise mit periodisch sich ändernder, elektromotorischer Kraft keine Selbstinduction statt (wie z. B. in einem Glühlampenstromkreis), so wird für jedes Zeitelement nach dem Ohm'schen Gesetze

$$E = J R \sin \omega . t$$

sein, wobei R den Gesammtwiderstand und $J = J_0 \sin \omega t$ den Nutzstrom, ferner $\omega = 2 \pi n$ bedeutet, worin n die Zahl der Stromwechsel ist [1]).

Fig. 216.



In diesem Falle würde die Phase des Stromes J mit jener der elektromotorischen Kraft E coindicieren, wie dies die Fig. 216 andeutet.

Wenn in einem Stromkreis mit Selbstinduction (in welchem z. B. eine Drahtspule mit Eisenkern eingeschaltet ist), eine periodisch variierende elektromotorische Kraft E vorkommt, R den Ohm'schen Widerstand und L den

[1]) Nach Seite 138 ist $\omega = \frac{2\pi}{T}$; da nun $nT = 1$ ist, wird $\omega = 2\pi n$.

Selbstinductions-Coëfficient der Spule S (Fig. 217) bedeutet, so muss, um in dem Stromkreis einen periodisch veränderlichen Nutzstrom von der Größe $J = J_0 \sin \omega t$ zu unterhalten, die elektromotorische Kraft einerseits den Ohm'schen Widerstand, anderseits die Selbstinduction überwinden. Sie wird sich also aus zwei Theilen zusammensetzen, wovon ein Theil $e_1 = J . R \sin \omega t$ dem Nutzstrome J beim Widerstande R, der zweite Theil $e_2 = - L \frac{d J}{d t}$ der elektromotorischen Kraft der Selbstinduction entspricht.

Fig. 217.

Da nun $\frac{d J}{d t} = J \omega \cos \omega t$ ist, so wird $e_2 = - L J \omega \cos \omega t$, und die der Induction entsprechende elektromotorische Gegenkraft

$$e'' = - e_2 = + L J \omega \cos \omega t \text{ sein.}$$

Die Gesammt-Elektromotorische Kraft oder die zur Unterhaltung des Stromes J aufzuwendende Kraft, wird sonach $e = e_1 + e''$ sein.

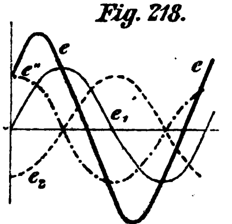


Fig. 218.

Setzt man in Fig. 218 die den Kräften e_1, e'' entsprechenden Wellenlinien, welche in ihrer Phase um 90° verschoben sind, zu einer Summenlinie zusammen, so stellt Curve e die Gesammt-Elektromotorische Kraft dar, welche wieder eine Sinuslinie wird. Analytisch ist:

$$e = e_1 + e'' = J R \sin \omega t + L J \omega \cos \omega t = J R \left(\sin \omega t + \frac{\omega L}{R} \cos \omega t\right).$$

Setzt man $R J = E \cos \varphi$ und $J L \omega = E \sin \varphi$, worin E und φ unbekannt sind, so wird, wenn man die beiden Gleichungen quadriert und addiert,

$$E^2 = J^2 \; (R^2 + \omega^2 L^2)$$
$$E = J \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2},$$

ferner wird durch Division beider Gleichungen $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R}$ sein.

Man kann daher e ausdrücken durch: $e = \frac{J R}{\cos \varphi} \sin (\omega t + \varphi)$, oder $e = E \sin (\omega t + \varphi)$. Die resultierende elektromotorische Kraft e kann sonach durch eine Sinuslinie von der Amplitude E dargestellt werden.

Den Ausdruck $\frac{J R}{\cos \varphi}$ kann man noch anders bezeichnen. Nimmt man $\frac{R}{\cos \varphi} = R'$ als Hypotenuse $A C$ eines rechtwinkligen Dreieckes (Fig. 219), dessen eine Kathete $L \omega$, dessen andere R ist, so wird $R' = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ und sonach der Ausdruck für e

Fig. 219.

$$e = J \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \sin (\omega t + \varphi).$$

Aus dieser Ableitung ersieht man nunmehr folgendes:

1. Die Gleichung $E = J \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ zeigt, dass die Selbstinduction die Stromintensität in dem Sinne vermindert, als ob der Widerstand im

Verhältnisse R zu $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ zugenommen hätte. Die Stromcurve wird daher nicht mehr J (Fig. 220), sondern J^1 sein.

Fig. 220.

Beim Gleichstrome würde $J = \frac{E}{R}$ werden; beim Wechselstrome wird jedoch der Strom $J = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$ stets kleiner als jener sein, welchen eine gleichgerichtete Kraft in demselben Stromkreis hervorbringen würde. Je größer die Selbstinduction ist, desto kleiner wird also die Stromstärke werden.

Den Ausdruck $\omega L = 2 \pi n L$ nennt man den „inductiven Widerstand" (Inductanz), während der Wurzelausdruck $\sqrt{R^2 + 4 \pi^2 n^2 L^2}$ den „scheinbaren Widerstand" („Impedanz") des Stromkreises darstellt.

Dieser Widerstand muss größer als der wirkliche (oder Ohm'sche) Widerstand sein. Er wird, wie der Ausdruck zeigt, mit der Größe der Selbstinduction und mit der Stromwechselzahl zunehmen.

Z. B. Ein Telephonstrom, dessen Periode $\frac{1}{1.000}$ ist, durchsetze eine Spule von $50\,\Omega$ Widerstand und es sei $L = 0{\cdot}6$. So wird der scheinbare Widerstand $R' = 4.000$, d. h. 80 mal größer als der wirkliche Spulenwiderstand sein.

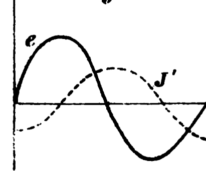


Fig. 221.

2. Der zweite Theil des Ausdruckes für e zeigt ferner, dass die Wellenbewegung des Stromes verzögert wird, d. h. die Phase des Stromes J^1 und jene der elektromotorischen Kraft e coincidieren nicht mehr, sondern sie erscheinen gegeneinander verschoben (Phasenverschiebung, Fig. 221); sie besitzen beide nicht mehr gleichzeitig den Maximalwert und den Wert Null.

Diese Phasenverschiebung φ hängt von der Größe $\omega L = 2 \pi n L$, also vom Selbstinductions-Coëfficienten und der Polwechselzahl ab. Ersterer ist wieder abhängig von der Form, Anzahl der Windungen und magnetischen Beschaffenheit des Eisenkernes. Die Phasenverschiebung ist umso größer, je größer der Selbstinductions-Coëfficient L und die Periodenzahl n ist, und ist umso kleiner, je größer der Ohm'sche Widerstand R ist[1]). Sie muss aber stets kleiner als 90° sein, weil für $R = 0$, $\tang \varphi = \infty$ und $\varphi = \frac{\pi}{2}$ wird.

In diesem letzteren Falle ist die elektromotorische Kraft der Selbstinduction e_2 um $^1/_4$ Periode in der Phase vorangeeilt. Sowie aber R nicht verschwindet, ist die Phasenverschiebung immer $< 90°$. Dieser Phasenverschiebung entspricht eine gewisse Zeitdauer τ, um welche der Strom später durch Null geht. Dieselbe ist $\tau = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\varphi}{2 \pi n}$.

Ist $e_2 = 0$, so bleibt nur der Theil e_1 übrig und dann coincidiert die Welle von e mit jener von J^1 in der Phase. Dies hat z. B. auch dann statt,

[1]) Weshalb man in der Praxis oft durch Vergrößerung des Ohm'schen Widerstandes die Selbstinduction zu vermindern trachtet.

wenn im Wechselstromkreise Glühlampen oder bifilar gewickelte Widerstände eingeschaltet werden.

Graphisch kann man den Winkel φ ermitteln, wenn man in dem Dreiecke ABC (Fig. 219) $AB = R$ und $CB = Lw$ macht. Die Linie AC gibt dann den Wurzelausdruck und der Winkel BAC ist gleich dem Winkel φ.

Die vorerklärte Phasenverschiebung bewirkt, wie Seite 155 gezeigt werden wird, ferner eine Verminderung der Arbeitsleistung, welche umso kleiner ist, je geringer die Tourenzahl ist. Diese Verminderung der Arbeitsleistung ist auch ein Mittel zur experimentellen Bestimmung der Phasenverschiebung.

3. Die Formel für e gilt nun nicht nur für den ganzen Wechselstromkreis, sondern analog dem Ohm'schen Gesetze, auch für jeden Theil des Stromkreises, also auch für die „Spannungsdifferenz" zwischen zwei Punkten.

4. Aus der Ableitung für e folgt schliesslich, dass, um einen bestimmten Nutzstrom zu unterhalten, beim Wechselstrome mit Selbstinduction eine größere elektromotorische Kraft aufgewendet werden muss, als beim Gleichstrome ohne Selbstinduction.

Beispiel. Ist eine Spule vom Widerstande $R = 222{\cdot}6\ \Omega$ und vom Selbstinductions-Coëfficienten $L = 1{\cdot}2$ gegeben, so wird für $n = 10$, 100, 1.000 Perioden, der scheinbare Widerstand $R^1 = 235$, 791, 7.600 Ω sein.

Mit der Stromwechselzahl wächst also R^1 und kann im letzteren Falle der stets gleichbleibende Ohm'sche Widerstand $R = 222\ \Omega$ gegenüber dem größten Werte von R^1 vernachlässigt werden.

c) Sind mehrere, mit Selbstinduction behaftete Leiter in demselben Stromkreis geschaltet (Fig. 222), so ist der Gesammtwiderstand W gleich der Quadratwurzel aus den Quadraten der Summe der Ohm'schen Widerstände und der Summe der Selbstinductions-Coëfficienten, also

Fig. 222.

$$W = \sqrt{(\Sigma R)^2 + \omega^2 (\Sigma L)^2}.$$

Sind in Fig. 222 l_1, l_2 u. s. w. Leiter vom Ohm'schen Widerstande r_1, r_2 . . , und besitzen diese die Selbstinductions-Coëfficienten L_1, L_2 . . , so wird die Gesammt-Elektromotorische Kraft des Stromkreises, welche in jedem Zeitmomente zur Überwindung der Widerstände nothwendig ist:

$$e = (r_1 + r_2 \ldots) J \sin \omega t + \omega J (L_1 + L_2 \ldots) \cos \omega t \text{ sein.}$$

Da sich nun alle Leiter zusammengenommen, wie ein Leiter vom Ohm'schen Widerstande Σr und von der Selbstinduction ΣL verhalten, so kann man in Analogie mit der Gleichung Seite 145, wo E die aufzuwendende elektromotorische Kraft bedeutet, schreiben:

$$E = J \sqrt{(\Sigma r)^2 + w^2 (\Sigma L)^2} \text{ und } \operatorname{tang} \varphi = \frac{\omega \Sigma L}{\Sigma r}.$$

Aus der Gleichung für E ersieht man, dass die resultierende Spannungsdifferenz nicht wie beim Gleichstrome, gleich der Summe der aufzuwendenden Spannungsdifferenzen ist. Sie wird gleich dieser Summe nur in dem Falle, wenn in allen Theilen des Stromkreises dieselbe Verschiebung der Stromphase gegen die Spannungsphase stattfindet; sie wird weiters Null, wenn die Phasen von E und J um 180^0 differieren.

Beispiel. Angenommen, es seien in der Fig. 223 eine Spule ab und ein inductionsfreier Widerstand bc gegeben, für welche $r_1 = 100\,\Omega$, $L_1 = 1\,H$ und $r_2 = 200\,\Omega$, $L_2 = 0\,H$ ist; ferner sei $n = 50$ und der Nutzstrom $J = 1$ A., so wird die Spannungsdifferenz zwischen ab:

Fig. 223.

a r_1 b r_2 c

$$E_1 = J\sqrt{r_1^2 + \omega^2 L_1^2} = 330 \text{ Volt sein.}$$

Die Phasenverschiebung ist tang $\varphi_1 = \frac{\omega L_1}{r_1}$, was $\varphi = 72^\circ\, 20'$ ergibt.

Die Spannungsdifferenz zwischen cd wird:

$$E_2 = J\sqrt{r_2^2 + \omega^2 L_2^2} = 1\sqrt{200^2 + 0} = 200 \text{ Volt}$$

und tang $\varphi_2 = 0$, sonach $\varphi_2 = 0$ sein.

Es ist daher:

$$E = J\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2} = 434{\cdot}4 \text{ Volt.}$$

Die resultierende Phasenverschiebung ist aber

$$\text{tang } \varphi = \frac{\omega (L_1 + L_2)}{r_1 + r_2} = \frac{2\,\pi\,.\,50}{300}, \text{ oder } \varphi = 46^\circ\, 19'.$$

Würde man sonach zwei Voltmeter (oder zwei Glühlampen) an ab und bc anlegen und eines an ac, so würde die Anzeige des letzteren, bezw. der Glühlampen, stets kleiner als die Summe der Anzeigen von ab und bc sein, bezw. die Glühlampen würden dunkler brennen.

Diese Erscheinung steht mit dem Principe der Erhaltung der Energie nicht im Widerspruch, denn, wenn in einem Stromzweige Arbeit consumiert wird, so wird dieselbe im anderen, u. zw. bei Vergrößerung der mittleren Energie wieder frei.

b) **Das verzweigte Stromsystem.**

Die Parallelschaltung.

Sind in Fig. 224 l_1, l_2, l_3 die an den Knotenpunkten A und B parallel geschalteten Leiter, so lässt sich

a) wenn die Spannungsdifferenz ($e = E \sin \omega t$) an den Punkten AB bekannt ist, die Stromstärke i_1, i_2, i_3 in jedem Zweige berechnen. Es ist dann:

$$i_1 = \frac{E}{\sqrt{r_1^2 + \omega^2 L_1^2}} \sin(\omega t - \varphi_1), \text{ wobei tang } \varphi_1 = \frac{\omega L_1}{r_1} \text{ ist, u. s. f.}$$

Fig. 224.

A B $r_1 L_1$ $r_2 L_2$ $r_3 L_3$

Der resultierende Strom J_r wird in jedem Momente allgemein gleich der Summe der Theilströme werden:

$$J_r = i_1 + i_2 + i_3 \ldots = J \sin(\omega t - \varphi_1) + \ldots J_r \sin(\omega t - \psi) \text{ sein.}$$

Die mittlere Intensität des resultierenden Stromes wird nach dieser Gleichung aber nicht gleich der Summe der mittleren Intensitäten der Zweigströme, sondern kleiner als diese sein.

Die resultierende Phasenverschiebung ist sodann tang $\psi = \frac{\Sigma J_r \sin \varphi_r}{\Sigma J_r \cos \varphi_r}$.

Ist die Phasendifferenz groß, so kann die mittlere Stromstärke eines Zweigstromes unter Umständen größer, wie die Totalintensität sein.

Die Amplitude des resultierenden Stromes wird aus der Gleichung

$$J = \sqrt{(\Sigma J_r \sin \varphi_r)^2 + (\Sigma J_r \cos \varphi_r)^2}$$

berechnet.

Im vorliegenden Falle wurde vorausgesetzt, dass die Zweige sich gegenseitig nicht beeinflussen. Trifft dies aber nicht zu, so complicieren sich die Stromverhältnisse wesentlich.

b) Kennt man jedoch die Spannungsdifferenz zwischen A und B nicht, so lässt sich [1]) ermitteln, was für einen Ohm'schen Widerstand und was für eine Selbstinduction ein Leiter haben müsste, um die gesammten, parallel geschalteten Leiter $l_1\, l_2 \ldots$ zu ersetzen.

Ist φ der Ohm'sche Widerstand des einzigen Leiters, λ dessen Selbstinduction, so ist, wenn

$$a = \Sigma \frac{r}{r^2 + \omega^2 L^2} \text{ und } b = \Sigma \frac{L}{r^2 + \omega^2 L^2} \text{ ausdrückt,}$$

$$\rho = \frac{a}{a^2 + \omega^2 b^2} \text{ und } \lambda = \frac{b}{a^2 + \omega^2 b^2}.$$

Man sieht aus den Gleichungen, dass die Werte ρ und λ, welche einem Leiter entsprechen, von der Stromwechselzahl abhängig sind und für jede gegebene Stromwechselzahl stets einen anderen Wert geben werden.

Nur in dem einzigen Falle, wo die Zeitconstante bei allen Zweigen constant ist, wird ρ und λ unabhängig von der Stromwechselzahl sein.

In diesem Falle wird sonach:

$$\frac{L_1}{r_1} = \frac{L_2}{r_2} = \frac{L_3}{r_3} = \ldots = k \text{ sein.}$$

Dann wird aber auch, wie beim Gleichstrome,

$$\rho = \frac{1}{\Sigma \frac{1}{r}} \text{ und } \lambda = \frac{k}{\Sigma \frac{1}{r}} \text{ werden [2]).}$$

Beispiel. Ist in Fig. 225 ein inductionsfreier Widerstand r_2 und eine Spule r_1 parallel geschaltet, und ist $r_1 = 100$, $r_2 = 200$ Ohm, $L_1 = 1\,H$, $L_2 = 0$, $n = 50$, ferner die Spannungsdifferenz zwischen A und B, $E = 330$ Volt, so ist

Fig. 225.

$$J_1 = \frac{E}{\sqrt{r_1^2 + \omega^2 L_1^2}} = 1 \text{ A.}$$

Die Phasenverschiebung für den Zweig $A\, r_1\, B$ ist

$$\operatorname{tang} \varphi_1 = \frac{\omega L_1}{r_1} = 3{\cdot}14 \text{ und daher } \varphi_1 = 72^\circ\, 20'.$$

Für den Zweig $A\, r_2\, B$ ist

$$J_2 = \frac{E}{\sqrt{r_2^2 + \omega^2 L_2^2}} = 1{\cdot}65 \text{ A. und } \varphi_2 = 0.$$

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik 1889, Seite 668.

[2]) Schaltet man z. B. Telephone parallel, so verhalten sie sich so, als ob die Hälfte des Ohm'schen Widerstandes und jene der Selbstinduction für den Ersatzleiter zu nehmen ist.

Da für den resultierenden Strom

$$J \cos \psi = J_1 \cos \varphi_1 + J_2 \cos \varphi_2 + \ldots \text{ und}$$
$$J \sin \psi = J_1 \sin \varphi_1 + J_2 \sin \varphi_2 + \ldots \text{ wird, ist}$$

$$J \cos \psi = 1 . \frac{100}{330} + 1\cdot65 . \frac{200}{200} = 1\cdot95,$$

$$J \sin \psi = 1 . \frac{314}{330} + 1\cdot65 . 0 = 0\cdot952$$

und

$$J = \sqrt{1\cdot95^2 + 0\cdot952^2} = 2\cdot17 \text{ A.; ferner ist}$$

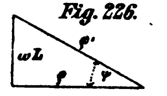
$$\text{tang } \psi = \frac{0\cdot952}{1\cdot95} = 0\cdot488, \text{ und dementsprechend } \psi = 26^0.$$

Ersetzt man die beiden Zweige durch einen einzigen Widerstand ρ^1, so wird

$$\rho^1 = \frac{E}{J} = \frac{330}{2\cdot17} .$$

und weiters nach Fig. 226, der Ohm'sche Widerstand $\rho = \rho^1 \cos \psi = 136\,\Omega$ sein.

Da ferner $\omega\,\lambda = \rho^1 \sin \varphi$ ist, wird $\lambda = 0\cdot212\,H.$



Ist die umgekehrte Aufgabe, bei welcher ein Summenstrom gegeben ist, und es sollen die Zweigströme und die Spannungsdifferenzen in den einzelnen Zweigen bestimmt werden, zu lösen, so rechnet man sich die Größen a und b, und damit ρ und λ aus, und kann nunmehr aus diesen Größen, sowie aus dem gegebenen Summenstrom die Spannungsdifferenz zwischen A und B ermitteln. Hat man diese bestimmt, so ist der weitere Verlauf der Rechnung einfach.

c) Sollen mehrere elektromotorische Kräfte parallel geschaltet werden, so müssen diese gleiche Periodenzahl und gleiche Phasen haben. Über diese Schaltung wird später das Nähere erörtert werden.

c) Die Beseitigung der Induction. Die Condensatoren.

Die Beseitigung der Induction geschieht mit Hilfe der Erscheinung der Capacität, welche die entgegengesetzte Rolle, wie die Selbstinduction spielt. Die Capacität ist (nach Seite 18) die Eigenschaft der Körper, eine gewisse Elektricitätsmenge so lange in sich aufzunehmen, bis die elektrische Spannung einen gewissen Wert erreicht hat.

Die Capacität C eines Luftcondensators von der Belegungsfläche S (cm^2) und mit der Distanz d (cm) zwischen den zwei Belegungen, ergibt sich aus der Gleichung:

$$C = \frac{S}{4\,\pi\,d} .$$

und bei Annahme der Seite 20 festgelegten Capacitätseinheit aus:

$$C = \frac{S}{9 . 10^{11} . 4\,\pi\,d} \text{ Farad.}$$

Ist das beim Condensator verwendete Dielektricum nicht Luft, so ändert sich mit dem Dielektricum die Capacität. Z. B. für Guttapercha ist C 4·2mal so groß, als für Luft. Will man Capacitäten mit einander vergleichen, so

muss man den obigen Ausdruck für C noch mit der sogenannten „Dielektricitätsconstante“ k multiplicieren.

Folglich wird

$$C = k \frac{S}{4 \pi d}.$$

Die Dielektricitätsconstante beträgt z. B. für

Paraffiniertes Papier	$k = 3$,
Kautschuk	$k = 2 \cdot 3$,
Ebonit	$k = 2 \cdot 5$,
Glimmer	$k = 5$,
Luft	$k = 1$.

Beispiel. Ein Condensator hat eine Fläche von $1 \cdot 5 m^2$, die Belegung ist $0 \cdot 1 mm$ dickes paraffiniertes Papier, folglich ist

$$C = 3 \frac{15.000}{9 . 10^{11} . 4 \pi . 0 \cdot 01} \doteq 0 \cdot 4 \text{ mcfd.}$$

Die Condensatoren theilt man in Luftcondensatoren, und in solche mit festem Dielektricum ein, welch' letztere in der Praxis am meisten verwendet werden und bei welchen man meist paraffiniertes Papier, Ebonit oder Glimmer als Dielektricum anwendet.

Die theoretische Untersuchung der Wirkung der Condensatoren zeigt nun Folgendes:

a) Ein Condensator in einem Stromkreise mit constanter, elektromotorischer Kraft geschaltet, braucht beim Schließen des Stromes (also beim Laden des Condensators) eine unendlich lange Zeit, um eine bestimmte Spannung an seinen Belegungen erzielen zu lassen, und ebenso wird die Entladung nicht sofort geschehen, sondern nach und nach.

b) In einem Wechselstromkreis kann ein Condensator C in dreifacher Weise geschaltet werden:

α) Mit der Elektricitätsquelle und äußeren Leitung l (Fig. 227) hintereinander. Da ein Condensator in einem Wechselstromkreise die Ladung periodisch ändert, so fließt beständig Strom durch die Leitung, und die Stromzufuhr wird durch den Condensator nicht unterbrochen, wie dies jedoch beim Gleichstrome der Fall ist.

Fig. 227.

Fig. 228.

β) Im Nebenschlusse zum äußeren Stromkreis l (Fig. 228) und endlich

γ) können die Condensatoren als Erdschluss an die Leitungen l gelegt werden (Fig. 229).

Fig. 229.

In allen diesen drei Fällen ergeben sich verschiedene Resultate.

Im Falle α) ändert sich periodisch die Ladung, da der Condensator immer im entgegengesetzten Sinne geladen und entladen wird. Die theoretische Untersuchung lehrt, dass in einem Stromkreise ohne Selbstinduction, in welchem ein Condensator von einer Capacität C bei einem undulierenden Nutzstrom J geschaltet ist, die elektromotorische Kraft e zur Erzeugung dieses Nutzstromes gleich jener e_1 zur Überwindung des Ohm-

schen Widerstandes R und jener l_2 zur Überwindung der Ladespannung des Condensators, also

$$e = e_1 + e_2 = J \sqrt{R^2 + \frac{1}{(2 \pi n C)^2}} \sin (\omega t - \psi) \text{ ist.}$$

Aus der Analogie dieser Formel mit jener auf Seite 145 kann man ersehen, dass $\frac{1}{2 \pi n C}$ ebenfalls einen „scheinbaren Widerstand" repräsentiert, welcher zwar den Ohm'schen Widerstand vergrößert, jedoch eine andere, u. zw. der Selbstinduction $(\omega t + \psi)$ entgegengesetzte Phasenverschiebung $(\omega t - \psi)$ erzeugt. Der Condensator schwächt sonach den Strom, erzeugt aber eine Phasenverschiebung, bei welcher die Spannungsphase der Stromphase voraneilt. Er wirkt mithin der Selbstinduction, welche, wie dies Seite 146 ausgeführt, dem Strome nacheilt, entgegen.

Ist in einem Wechselstromkreise nebst dem Ohm'schen Widerstande R eine Selbstinduction L und eine Capacität C vorhanden, so wird die Gesammt-Elektromotorische Kraft aus drei Theilen bestehen müssen, u. zw.:

a) aus einem Theil zur Überwindung des Ohm'schen Widerstandes, welcher also den Nutzstrom liefert und in der Phase mit der Stromstärke übereinstimmt;

b) einem Theile zur Überwindung der Selbstinduction, welcher in der Phase zu J zurückbleibt, und

c) einen Theil, welcher als Ladespannung am Condensator auftritt und selbst so beschaffen sein kann, dass er dem Theil *b*) gerade entgegengesetzt gerichtet ist, also in der Phase voraneilt. Es wird also allgemein: $E = e_1 + e_2 + e_3$ sein müssen.

Bei der theoretischen Ableitung dieser Werte bekommt man als Endresultat

$$E = J \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \sin (\omega t + \psi),$$

wobei $\psi = \frac{1}{R} \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ ist.

Diese Gleichung zeigt, dass die resultierende Phasenverschiebung zwischen E und J entweder positiv oder negativ, oder aber Null sein kann, je nachdem die Selbstinduction oder der Condensator überwiegt oder beide sich ausgleichen. Der scheinbare Widerstand

$$R^1 = \sqrt{R^2 + \omega^2 \left(L - \frac{1}{\omega^2 C}\right)^2}$$

zeigt ferner im Vergleiche zu jenem Falle, wo nur die Selbstinduction allein vorhanden ist, dass infolge Einflusses des Condensators, der Selbstinductions-Coëfficient und damit der scheinbare Widerstand vermindert wird. Überwiegt der Condensator, so kann der scheinbare Widerstand selbst negativ werden.

Ist $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, so hat der Stromkreis weder eine Selbstinduction, noch eine Capacität; die letztere neutralisiert vollständig die erstere. Ist z. B. $\omega = 100$, $L = 1$, so wird $C = 1$ *mcfd.*

Bestimmt man sich die mittlere elektromotorische Kraft für die Selbstinduction und jene für die Capacität, so würde ihre Summe größer sein, als die totale, mittlere elektromotorische Kraft, die sich aus der Zusammensetzung des Condensators und der Selbstinduction ergibt; ja es kann vorkommen, dass unter bestimmten Verhältnissen jede der beiden Componenten größer als die Resultierende ist.

ad β) Wird ein Condensator im Nebenschluss (Fig. 228) geschaltet, so wird im Zweige mit der Selbstinduction eine Phasenverschiebung, u. zw. ein Nacheilen, im Zweige mit dem Condensator ebenfalls eine Phasenverschiebung, u. zw. ein Voreilen statthaben. Infolge dessen wird die Summe der Theilströme höher als die resultierende Stromstärke sein. Ebenso ist es möglich, dass jeder Zweigstrom von einem Strome durchflossen wird, dessen mittlere Stromstärke höher als die totale ist.

Für die Praxis ist es bemerkenswert, dass die Condensatoren, soferne sie nicht zu große Dimensionen annehmen sollen, eine verhältnismäßig geringe Rückverschiebung der Phase hervorrufen. So z. B. sei erwähnt, dass für eine Wechselstromlage im großen Maßstabe (Wiener-Centrale), welche concentrische Kabel als Speiseleitung verwendet, die eigentlich auch einen zu den Transformatoren parallel geschalteten Condensator darstellen, durch diese Capacität (gegenwärtig etwa 34 *mcfd*) eine verhältnismäßig geringe Rückverschiebung erfährt, und müsste man, um die Phasenverschiebung vollständig zu beseitigen, noch einen Condensator parallel schalten, der etwa die 13fache Capacität jener des Kabelnetzes haben sollte.

Die Condensatoren können entweder hintereinander oder nebeneinander geschaltet werden.

α_1) Sind die einzelnen Capacitäten $c_1, c_2, c_3 \ldots$, so wird die Gesammtcapacität bei der Hintereinanderschaltung

$$C = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \ldots}$$

und für $c_1 = c_2 \ldots = c_n$ wird $C = \frac{c}{n}$ sein.

β_1) Bei der Parallelschaltung wird $C = c_1 + c_2 + c_3 + \ldots$ und für $c_1 = c_2 = \ldots = c_n$ wird $C = n\,c$ sein.

Die Formeln zeigen die entgegengesetzten Ausdrücke, wie beim Parallelschalten von Widerständen.

Beispiel. Angenommen, es sei ein Condensator von der Capacität 100 *mcfd* in einem einfachen Wechselstromkreise ohne Selbstinduction geschaltet und es sei $E_0 = 100$ Volt, $R = 10\,\Omega$, $n = 50$, so wird $\omega = 2\,n\,.\,\pi \doteq 314$ und

$$R^1 = \sqrt{10^2 + \left(\frac{10^4}{314}\right)^2} = 33{\cdot}36\ \Omega \text{ sein.}$$

Der scheinbare Widerstand ist also größer als der Ohm'sche ($10\,\Omega$) geworden.

Die Amplitude des Stromes ist

$$J = \frac{E}{R^1} = \frac{100}{33{\cdot}3} = 3 \text{ A.}$$

und die Phasenverschiebung $\tang \psi = \frac{10^4}{314 . 10} = 3{\cdot}183$, folglich $\psi = 73^\circ$, d. i. der Winkel, um welchen der Strom in der Phase der elektromotorischen Kraft voraneilen würde. Würde eine andere Capacität, z. B. $c^1 = 1000$ *mcfd* eingeschaltet werden, so würde $R^1 = 10{\cdot}46\ \Omega$, $\tang \psi = 0{\cdot}318$ und $\psi = 18^\circ$ werden.

d). Die elektrische Arbeit.

1. Definition.

Die Arbeit, welche im ganzen Wechselstromkreise oder in einem Theile desselben geleistet wird, lässt sich analytisch und graphisch bestimmen.

Die während eines Zeitelementes dt geleistete Arbeit wird $dA = e i dt$ sein, sonach die Gesammtarbeit über eine vollständige Periode

$$A = \int_0^T e i dt; \text{ während die secundliche Arbeit } A_s = \frac{1}{T}\int_0^T e i dt \text{ ist.}$$

Diese Arbeit kann verschieden sein:

a) Wenn keine Selbstinduction vorhanden ist, und die Arbeit also ausschließlich in der Erwärmung des Leiters durch den Wechselstrom besteht, wird die Arbeit pro Zeiteinheit gleich sein: dem Mittelwerte des Productes aus der elektromotorischen Kraft mal der Stromstärke innerhalb einer Periode.

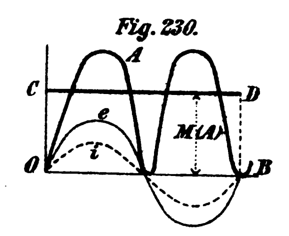


Fig. 230.

Um dieses Product graphisch darzustellen, trägt man in Fig. 230 für jedes Zeitelement das Product $e . i$ als Ordinate auf und bekommt, da dieses Product positiv wird, die Wellenlinie A als positiven Arbeitswert.

Reduciert man sich die Fläche OA wieder auf ein Rechteck $OCDB$, so wird der Mittelwert der Arbeit

$$M(A) = \frac{1}{2} J_0 E_0 = \frac{1}{2} J^2_0 R \text{ sein.}$$

Da nun die Messinstrumente die Stromstärke $J^1 = \frac{J_0}{\sqrt{2}}$, bezw. die elektromotorische Kraft $E^1 = \frac{E}{\sqrt{2}}$ Volt messen, so wird die mittlere Arbeit $A^1 = E^1 J^1$ sein.

In diesem Falle kann also die Arbeit durch directe Messung von J^1 und E^1 ermittelt werden.

Beispiel. Ist $E_0 = 5$ Volt, $R = 3\ \Omega$, so wird $E = 5 \sin 2 \pi n t$ und $J = \frac{5}{3} \sin 2 \pi n t$ sein.

Die Gesammtarbeit ist: $A = \frac{1}{2} E_0 J_0 = 4^2/_6$ Watt.

b) Kommt in einem Wechselstromkreise eine Selbstinduction vor, so besteht die Stromarbeit aus zwei Theilen: einen A_1 zur Überwindung des Ohm'schen Widerstandes und einen A_2 zur Überwindung der Selbstinduction. Der erstere Theil wurde bereits unter *a*) erörtert; beim zweiten Theil ist die Stromstärke mit der elektromotorischen Kraft e_2 der Selbstinduction zu combinieren. Bei Anwendung der graphischen Darstellung, stelle J in Fig. 231 die Stromwelle und e_2 die Curve der elektromotorischen Kraft der Selbstinduction dar. Bildet man das Product von beiden in jedem Momente, u. zw. unter Beachtung des Richtungssinnes, so bekommt man die Curve A_2. Die Arbeitsfläche oberhalb der Abscissenaxe stellt jenen Arbeitsantheil vor, der geleistet werden muss, jener unter Ox jenen Arbeitsantheil, welcher zurückgegeben wird. Beim Ansteigen des Stromes wird also Arbeit erfordert, beim Sinken diese Arbeit wieder frei gegeben. Folglich ist die Summe beider Theile oder $A = 0$, d. h. zur Überwindung der Selbstinduction ist keine Arbeit nothwendig. Es ist nur Arbeit zur Überwindung des Ohm'schen Widerstandes zu leisten. Die Selbstinduction stellt sonach einen „energielosen“ Widerstand dar.

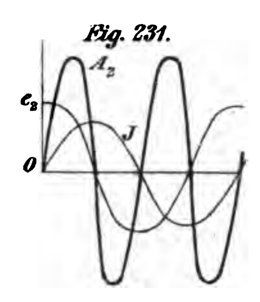


Fig. 231.

Die Gesammtarbeit wird nunmehr sein:

$$A = A_1 = \frac{1}{2} J_0{}^2 R = \frac{1}{2} J_0{}^2 R^1 \cos \varphi = E^1 J^1 \cos \varphi,$$

wobei E^1 und J^1 jene Ablesungen in Volt und Ampère sind, wie man sie bei den gewöhnlichen Messinstrumenten erhält. Aus diesem Werte ersieht man, dass die Arbeit in diesem Falle nicht durch directe Messung von Stromstärke und elektromotorische Kraft ermittelt werden kann. Es variiert die entwickelte Arbeit mit der Phasenverschiebung φ des Stromes gegenüber der elektromotorischen Kraft und infolge dessen mit der Selbstinduction. Sie ist Null für $\varphi = \frac{\pi}{2}$, d. h. für eine Verschiebung von $^1/_4$ Periode.

Je größer also bei gegebener Stromstärke und elektromotorischer Kraft die Phasenverschiebung, d. h. je größer die Selbstinduction des Stromkreises ist, desto kleiner ist A. Für $\varphi = \frac{\pi}{2}$ (ein idealer Zustand) ist $A = 0$.

Ist keine Selbstinduction vorhanden, so ist $\varphi = 0$; $A = J^1 E^1$. Bei offenem Stromkreis ist $J = 0$ und $R = \infty$, die Maschine liefert selbstverständlich keine Nutzarbeit. Wird der Widerstand des Schließungskreises verringert, so wird einerseits die Stromstärke gesteigert, anderseits wird die Selbstinduction erhöht und die elektromotorische Kraft verringert. Die Gesammtarbeit der Maschine steigt nach Fig. 232 bis zu einem gewissen Maximalwert, welcher wieder abnimmt, wenn der Widerstand noch weiter verringert wird.

Fig. 232.

Dem Factor $\cos \varphi$ (d. i. der Cosinus des Phasenverschiebungswinkels) ist nun nicht immer leicht zu bestimmen, weshalb es nothwendig ist, die Arbeit durch eigene Apparate zu messen, welche „Wattmeter“ heißen, und deren Angaben schon die Phasenverschiebung

zwischen Stromstärke und elektromotorische Kraft berücksichtigen. Anderseits kann man aber auch den Cosinus der Phasenverschiebung aus den Watt und Volt-Ampère bestimmen, indem

$$\cos \varphi = \frac{A}{J' E'} = \frac{\text{Watt}}{\text{Volt-Ampère}} \text{ ist.}$$

Graphisch kann man durch Combination der Curve für die Gesammt-Elektromotorische Kraft mit der Stromcurve eine Fläche erhalten, von welcher der ober der Abscissenachse liegende Theil einen größeren Wert besitzt, als der unter derselben liegende und deren Differenz sodann den richtigen Arbeitswert darstellt (Fig. 237, Seite 158).

Beispiel. Es sei die Stromarbeit in einer Spule zu bestimmen, wenn $E_0 = 5$ Volt, $R = 3\,\Omega$ und $2\,\pi\,n\,L = 4$ gegeben ist. Es wird

$$R^1 = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5\,\Omega;$$

folglich ist

$$J_0 = \frac{E_0}{R^1} = \frac{5}{5} = 1 \text{ A.}$$

Da ohne Selbstinduction $J_0 = \frac{5}{3} = 1\,{}^2/_3$ A. ist, so muss bei Selbstinduction, der Wert von J_0 von $1\,{}^2/_3$ auf 1 A. sinken.

Die Phasenverschiebung $\tang \varphi = \frac{4\,\pi\,n\,L}{R} = \frac{4}{3}$ entspricht einem Winkel von $\varphi = 53^0$ (also mehr wie ${}^1/_8$ Periode). Da nun $A = \frac{1}{2} E_0\, J_0 \cos \varphi$ ist, wird

$$A = \frac{1}{2} . 5 . 1 . {}^3/_5 = 1{\cdot}5 \text{ Watt.}$$

2. Die Mittel zum Messen der Arbeit.

Als Beispiel eines directen Energiemessers sei in den Figuren 233 bis 235 das Wattmeter von Ganz & Cie. angeführt, welches eine dem Siemens'schen Elektrodynamometer ähnliche Form, jedoch mit dem Unterschiede besitzt, dass die feste Spule A (Fig. 234), welche wenig Windungen dicken Drahtes enthält, in Reihe mit dem Hauptstromkreis geschaltet ist (Fig. 235), während die aufgehängte bewegliche Spule C, aus vielen Windungen dünnen Drahtes bestehend, als Nebenschluss zum Hauptstromkreis angeordnet ist. Ein induc-

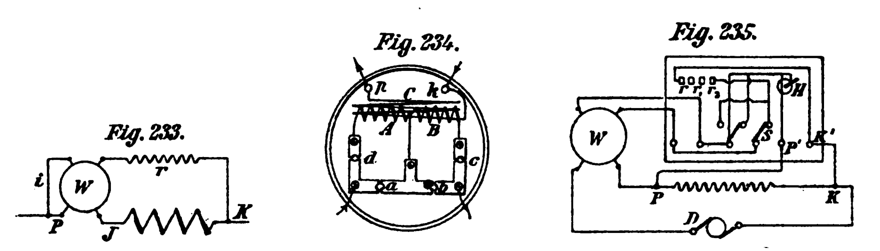


Fig. 233. Fig. 234. Fig. 235.

tionsfreier Zusatzwiderstand r (Fig. 233) ist noch in den Stromkreis der Spule C geschaltet. Die Kraft, mit welcher beide Windungen aufeinander wirken, ist proportional den Stromstärken i, J, anderseits proportional dem Torsionswinkel α.

Es wird $J.i = k\alpha$ sein, wenn k eine Instrumentenconstante bedeutet. Durch Multiplication mit dem Gesammtwiderstand R (bewegliche Spule + Zusatzwiderstand) erhält man

$$J.E = k\alpha R = C_1\alpha.$$

C_1 ist die Anzahl Watt, welche beim Nebenschluss r einem Torsionsgrad entspricht.

Die fixe Spule (Fig. 234) hat zwei Umwindungen A, B, von welchen die dicke für starke, beide Windungen aber hintereinander geschaltet für schwache Ströme gelten. Die Schaltung geschieht in diesem Falle durch die Stöpsel $a\ b\ c$; d ist ein zum Ausschalten des Apparates dienender Kurzschlusstöpsel. $p\ k$ sind Klemmen der beweglichen Spule, $P^1\ K^1$ (Fig. 235) Klemmen für die Verbindung des Zusatzwiderstandes mit den Punkten K und P, zwischen welchen der Effect gemessen werden soll. H ist ein Ausschalter, S ein Stromwender.

Das Schaltschema der zwei gebräuchlichen Schaltungsarten zeigen die Figuren 233 und 235, welch' letztere Schaltart dann angewendet wird, wenn man es mit Strömen von großer Stromstärke zu thun hat.

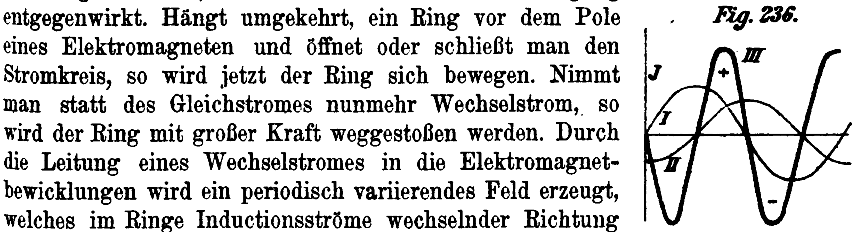
Beispiel. Bei einer Constante 0·1 des Instrumentes und Ablesung $\alpha = 150^\circ$, erhält man bei dem Verschaltwiderstande $R = 1.000\ \Omega$,

$$A = 0{\cdot}1 \times 150.1.000 = 15.000 \text{ Watt.}$$

e) Inductive Abstoßung. Kraftliniendrosselung.

Seite 84 wurde gezeigt, dass, wenn ein Ring gegen ein vom Gleichstrome erzeugtes, magnetische Feld bewegt wird, ein Inductionsstrom von solcher Richtung entsteht, dass er der wirklichen Bewegung entgegenwirkt. Hängt umgekehrt, ein Ring vor dem Pole eines Elektromagneten und öffnet oder schließt man den Stromkreis, so wird jetzt der Ring sich bewegen. Nimmt man statt des Gleichstromes nunmehr Wechselstrom, so wird der Ring mit großer Kraft weggestoßen werden. Durch die Leitung eines Wechselstromes in die Elektromagnetbewicklungen wird ein periodisch variierendes Feld erzeugt, welches im Ringe Inductionsströme wechselnder Richtung hervorruft.

Fig. 236.



Zeigt die Curve I in Fig. 236 den Verlauf des primären Wechselstromes, so wird die Curve II jenen des secundären Inductionsstromes darstellen.

Dieser wird sein Maximum und Minimum in jenen Momenten haben, wo der primäre Wechselstrom I durch Null geht, bezw. sein Maximum erreicht. Nun findet aber eine Wechselwirkung zwischen dem inducierten Strom im Ringe und dem primären des Feldes statt, und die Zusammensetzung der beiden Curven I und II gibt als Product die Curve III, welche die Kraft repräsentiert, mit der beide Ströme aufeinander wirken.

Da die positiven und negativen Flächenwerte von III gleich groß sind, so heben sich die anziehenden und abstoßenden Wirkungen auf. Dies gilt aber nur dann, wenn keine Selbstinduction vorhanden ist.

Ist jedoch eine große Selbstinduction vorhanden, so wird der secundäre Strom gegen den primären in der Phase verschoben werden. Angenommen, dass die Phasendifferenz $1/_8$ Periode beträgt, so zeigt die Fig. 237, dass das Product von I und II, also die Curve III, ungleiche Flächenwerte besitzt.

Fig. 237.

Der negative Flächenwert, welcher die Abstoßung repräsentiert, ist viel größer, als der positive, die Anziehung repräsentierende Flächenwert. Daraus folgt, dass in einem solchen Falle die abstoßende Kraft die anziehende bedeutend überwiegt. Dies erklärt auch, warum ein Ring im periodischen Felde mit beträchtlicher Kraft abgestoßen wird.

Auf diesem Principe basieren die von E. Thompson zuerst ausgeführten Experimente der „inductiven Abstoßung", — eine Erscheinung, die man auch dazu benützt hat, Strom- und Spannungsmesser für Wechselströme zu construieren.

Eine weitere, merkwürdige Erscheinung ist jene der „Drosselung der Kraftlinien". Nimmt man nach Fig. 238 ein Elektromagnetsystem mit langem Eisenkern und schiebt über das eine Ende eine geschlossene Spule S so zeigt sich, dass das Feld hinter der Spule S außerordentlich schwach ist; die Kraftlinien, welche den Eisenkern durchsetzen, werden hinter der Spule förmlich abgeschnitten und weichen seitlich zur Spule aus. Die Erklärung dieser Erscheinung ist bei der Betrachtung des Kraftlinienverlaufes leicht zu finden. Das in der geschlossenen Spule inducierte Feld, bezw. dessen Kraftlinien suchen die Kraftlinien im Eisenkern zu vernichten, und da die Kraftlinien entgegengesetzt gerichtet sind, so suchen sie einander auszuweichen. Deshalb werden die Kraftlinien des Eisenkernes, welche nach außen gehen, gezwungen, seitlich abzufließen und zum Südpol zurückzugehen.

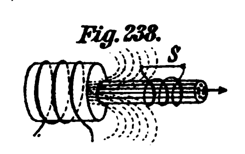


Fig. 238.

Durch Anbringung mehrerer, hintereinander angeordneter Spulen kann man diese Drosselung kräftiger gestalten.

Eine solche Schirmwirkung hat auch Thompson benützt, um darnach Rotationsapparate und Motoren zu construieren.

Thompson formulierte auf Grund seiner Experimentaluntersuchungen folgende Sätze:

1. Wenn zwei oder mehrere geschlossene Leiter gleichzeitig der Inductionswirkung eines periodischen magnetischen Feldes ausgesetzt sind, so ziehen sie sich an und suchen sich parallel zu stellen (Abstoßungsexperiment mit zwei Ringen).

2. Eisenmassen, welche in ein periodisches Feld gebracht werden, geben, ähnlich wie beim Gleichstrome, auch beim Wechselstrome zur Ablenkung der Kraftlinien Anlass.

Sie können sonach bewirken, dass eine Kraftäußerung auf geschlossene Stromleiter erfolgt, welche sich auf dem Wege der abgelenkten Kraftlinien befinden (Rotationsexperiment mit einer theilweise abgedeckten Kupferscheibe).

3. Geschlossene Leiter, welche sich in einem alternierenden Felde befinden, geben ebenfalls Veranlassung zur Ablenkung der magnetischen Kraft-

linien und können bewirken, dass auf andere geschlossene Leiter, welche auf dem Wege der abgelenkten Kraftlinien sich befinden, eine Kraftäußerung erfolgt.

4. Eisenmassen im alternierenden Felde können auf andere Eisenmassen oder geschlossene Stromleiter derart einwirken, dass eine relative Bewegung derselben entsteht.

Auf Grund dieser Inductionswirkungen hat Thompson einen Elektricitätszähler für Wechselstrom construiert, der aus einem kleinen Compound-Dynamo-Motor besteht, dessen verticalstehende Ankerwelle am oberen Ende mit einem Zählwerke, am unteren Ende mit einer Kupferscheibe in Verbindung steht, welch' letztere sich zwischen den Polen von drei Hufeisenmagneten bewegt. Die in der drehenden Kupferscheibe entstehenden Inductionsströme üben nun eine Bremswirkung auf die rotierende Bewegung aus, so dass die Geschwindigkeit des Ankers nicht zu sehr anwächst.

Die Geschwindigkeit der Drehbewegung ist der Energie des Stromes, welcher durch diesen Wattzähler gemessen werden soll, proportional.

C. Die Einphasen-Wechselstrommaschinen.

1. Eintheilung.

Das Princip der Einphasen-Wechselstrommaschinen, welche zum Unterschiede von den Mehrphasenstrommaschinen nur einen Wechselstrom liefern, wurde bereits Seite 136 dargelegt. Sie waren die zuerst in der Praxis verwendeten elektrischen Maschinen, welche jedoch eine Zeitlang durch die Gleichstrommaschinen verdrängt worden waren, bis die Erfolge mit der Energievertheilung durch Transformatoren sie wieder mehr und mehr in die Praxis einführten.

Die Wechselstrommaschinen sind im allgemeinen zur Erzeugung von Strömen mit hoher Spannung und von kurzer Periode bestimmt und bestehen im wesentlichen aus einer Armatur und einem magnetischen Felde, welch' letzteres jedoch infolge der geforderten größeren Periodenzahl aus mehreren Elektromagneten zusammengesetzt ist [1]).

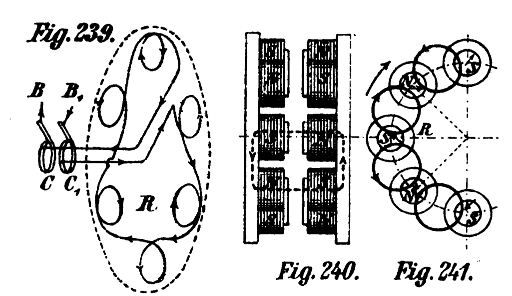


Fig. 239. Fig. 240. Fig. 241.

Man kann sie nach der Art der Armatur unterscheiden in solche mit:

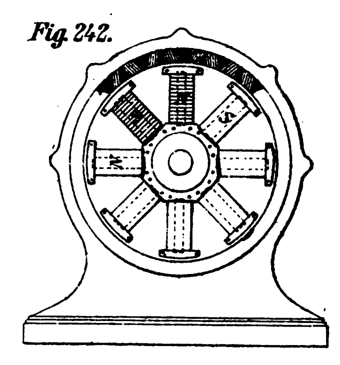
a) Scheiben-,
b) Ring- und
c) Trommelarmaturen, dann
d) mit speichenartiger Anordnung der Armatur.

Bei der ersten Gattung sind die Ankerspulen *R* (Fig. 239) auf dem Umfange einer Scheibe angebracht und stehen unter dem Einflusse von magnetischen Feldern mit wechselnder Polarität, welche nach den Figuren 240 und 241 derart an-

[1]) Wollte man mit einem einzigen Magnet, wie bei den Gleichstrommaschinen Ströme mit kurzer Periode erreichen, so müsste der Anker eine excessive, gefährliche Geschwindigkeit erlangen, wobei die resultierende Spannungsdifferenz eine sehr differierende wäre. Man muss daher das magnetische Feld in mehrere Felder untertheilen.



geordnet sind, dass zwei Reihen von Elektromagneten *N S* in zwei parallelen Kränzen fix montiert sind, zwischen welchen sodann die Armaturspulen *R* rotierend bewegt werden.


Fig. 242.

Zu dieser Maschinentype gehören die ältesten Wechselstrommaschinen, ferner jene von Siemens & Halske, Ferranti u. a. m.

Bei denselben sind die Axen der Spulen parallel zur Rotationsaxe. Die Spulen, deren eben so viele als Pole vorhanden sind, enthalten entweder einen Eisenkern oder keinen.

Bei der zweiten Gattung (Fig. 242) sind die Spulen auf einen Eisenring, wie beim Gramme'schen Typus, gewickelt. Das magnetische Feld ist durch eine stern-, oder radförmige Zusammensetzung der Magnete *N S* gebildet, deren Pole alternieren. Hier treten die Kraftlinien senkrecht zum Armatureisen ein. Die Armaturspulen können verschiedenartig (hinter- und nebeneinander) verbunden werden.

Bei der dritten Gattung sind die Spulen *a* (Fig. 243) auf dem Mantel eines Hohlcylinders oder einer Trommel aufgewickelt und die Windungen sind parallel zur Rotationsaxe.

Das magnetische Feld wird entweder durch zwei Kränze von Magneten *SNS*, *nsn* gebildet, welche an der Außen- und Innenseite des Cylinders *T* gelagert sind (Typ Siemens & Halske, Fig. 243), oder durch nur einen

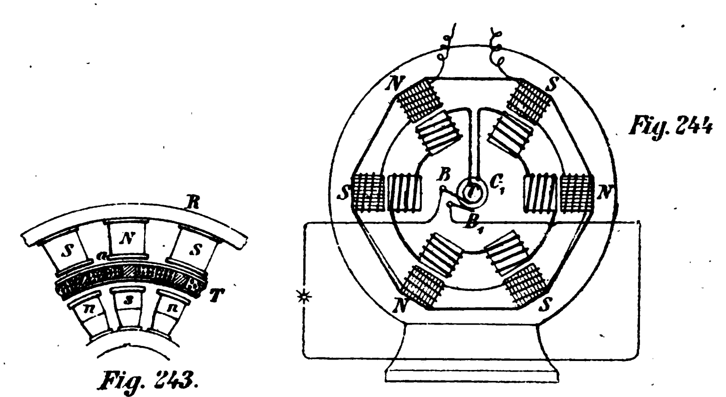


Fig. 243. *Fig. 244*

Magnetkranz von wechselnder Polarität (Typ Schuckert, Westinghouse). Besitzt der Eisencylinder radiale Vorsprünge *S N* (Fig. 244), auf welche sodann die Spulen gewickelt werden, so entsteht eine Pol-Armatur.

Die speichenförmige Anordnung der Armatur hat bei den neuesten Maschinentypen ihre besondere Ausbildung erlangt. Hiezu gehören auch die sogenannten „Schwungrad-Wechselstrommaschinen", bei welchen in dem Schwungrade der Dampfmaschinen zahlreiche Magnetspulen radial befestigt werden, während die äußeren, feststehenden Kränze von Inductionsspulen den Anker bilden.

In Bezug auf die Erzeugung des Magnetfeldes kann man unterscheiden:

α) Wechselstrommaschinen mit permanenten Stahlmagneten (älteste Type),

β) solche mit separat erregten Feldmagneten, in welchem Falle die Erregung durch eine Gleichstrommaschine erfolgt, und

γ) solche mit Selbsterregung, wenn ein Theil des Ankerstromes (ein oder mehrere Ankerspulen) commutiert und als Gleichstrom zur Erregung der Feldmagnete verwendet wird.

Letztere Gattung von Maschinen wird aber in der Praxis nur mehr selten verwendet und ist die unter β) bezeichnete Erregungsart die allgemein übliche geworden.

Endlich kann man die Wechselstrommaschine noch nach der Zahl der angewendeten oder erzeugten Wechselströme untertheilen: in einphasige und mehrphasige Wechselstrom- (bezw. Drehstrom-) Maschinen.

2. Construction und Beschreibung.

Hinsichtlich der Constructionsbedingungen gelten für Wechselstrommaschinen, nachdem sie den gleichen Aufbau, wie die Gleichstrommaschinen, besitzen, die bereits auf Seite 107 erörterten Bedingungen. Die Zahl der Armaturspulen ist gleich der Zahl der magnetischen Felder oder ein Vielfaches derselben. Der innere Widerstand des Ankers soll möglichst klein sein, damit die Selbstinduction nicht übermäßig wird. Letztere soll überhaupt derart sein, dass die Phasenverschiebung zwischen elektromotorischer Kraft und Stromstärke 45° beträgt, damit im Wechselstromkreise das Maximum des Effectes erreicht wird. Ist die Selbstinduction zu groß, so wird die Materialausnützung der Wechselstrommaschine geringer und man hat den Nachtheil, dass infolge der Verzögerung die maximale Stromstärke dann zustande kommt, wenn die Ankerspulen asymmetrisch zu den Feldmagnetspulen stehen, so dass sie die schwächende Wirkung des Ankers auf das Feld verstärken und damit die elektromotorische Kraft selbst verringert wird.

Die Armaturspulen enthalten entweder Eisenkerne oder häufiger kein Eisen. Sie lassen sich alle hintereinander oder parallel verbinden, oder man kann sie gruppenweise parallel verbinden, so dass man bei den Wechselstrommaschinen hoch- oder niedergespannten Strom in einfachster Weise erhalten kann. Man kann ferner bei den Wechselstrommaschinen entweder die magnetischen Felder festhalten und die Armatur rotieren lassen (Fig. 244), oder letztere feststellen und erstere in Bewegung setzen (Fig. 245).

Von den Gleichstrommaschinen unterscheiden sie sich durch Wegfall des Collectors. An dessen Stelle treten zwei Schleifringe CC_1 (Fig. 244), welche mit den Drahtenden der Armaturspulen verbunden sind und von welchen zwei schleifende Bürsten BB_1 die Stromleitung in den äußeren oder Nutzstromkreis vermitteln. Bei den selbsterregenden Wechselstrommaschinen werden mehrtheilige Commutatoren angewendet.

Als Beispiel einer Wechselstrommaschine sei im nachfolgenden die Type der Firma Ganz & Cie. beschrieben, welche in den Figuren 245 und 246 dargestellt ist.

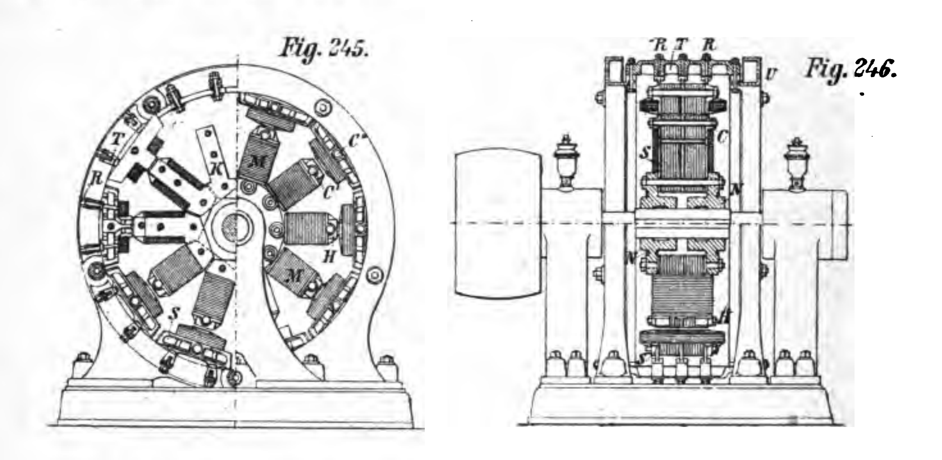


Fig. 245. Fig. 246.

Die Wechselstrommaschine besteht aus dem sternförmigen Magnetrad *M*, durch dessen Umdrehung innerhalb des Spulenkranzes (oder der Armatur) *R* in den Armaturspulen Wechselstrom induciert wird.

Der feststehende, aus *T*-förmigen Eisenblechen *T* (Fig. 245) zusammengesetzte Spulenkranz *R* hat die Form einer eisernen Trommel, welche — wie schon erwähnt, — radiale Vorsprünge *S* besitzt, auf welchen die Inductionsspulen fertig aufgebracht und durch den Bolzen *C''* im Halter *H* gesichert werden; letztere Spulen enthalten sonach Eisenkerne. Um nun die Bildung von Wirbelströmen zu vermeiden, werden sowohl diese Vorsprünge *S*, als auch die Kerne *K* der Feldmagnete aus lamelliertem Eisen von specieller Formgebung (*V*-Bleche) hergestellt. Die Verbindung der isolierten Eisenlamellen untereinander geschieht durch Bolzen *C'*.

Der Inductionsspulenkranz befindet sich in einer Schlittenvorrichtung und kann, wenn die Maschine außer Betrieb ist, herausgeschoben werden, so dass dadurch sowohl die Inductions-, als auch die Magnetspulen frei und der Reinigung zugänglich gemacht werden. Jede Magnetspule und jede Inductionsspule, sowie deren Eisenkerne sind einzeln auswechselbar.

Der Erregerstrom wird dem Magnetrad mittels zweier Schleifringe zugeführt.

Die Firma Ganz & Cie. hat mit ihren Wechselstrommaschinen große Erfolge erzielt und baut verschiedene Typen bis zu 480.000 Watt Leistung. Die gebräuchlichen Spannungen dieser Maschinen sind 1.000, 2.000 und 3.000 Volt. In der Regel werden bei den Wechselstrommaschinen aus Gründen der Betriebssicherheit specielle Erregermaschinen verwendet, welche meist mit der Wechselstrommaschine auf derselben Welle sitzen und von einer gemeinsamen Dampfmaschine betrieben werden.

3. Theorie der Einphasen-Wechselstrommaschinen.

Obwohl die gewöhnliche Wechselstrommaschine in Bezug auf die Stromerzeugung sehr einfach ist, gibt dennoch die Theorie derselben viele Schwierigkeiten, weil die elektromotorische Kraft einer Wechselstrommaschine nicht, wie bei der Gleichstrommaschine, als constant angesehen werden kann, sondern eine variable ist, welche sehr verwickelten Gesetzen unterworfen erscheint.

a) Als Grundgleichung für die elektromotorische Kraft wird man bei der Bewegung von k hintereinander geschalteten Spulen mit je a Windungen und z Stromwechsel eine mittlere elektromotorische Kraft (pro halbe Periode) von $M(E) = 2\,a.z.k.H$ bekommen, worin H die Kraftlinienzahl des Magnetfeldes bedeutet.

Für $akH = \mathfrak{N}$ gesetzt, ist $M(E) = 2\,z\,\mathfrak{N}$, oder $M(E) = 10^{-8}\,2\,z\,\mathfrak{N}$ Volt.

Beispiel. Für eine gegebene Wechselstrommaschine ist $k = 40$, $a = 20$, $z = 80$, ferner die Windungsfläche einer Spule $15 \times 35 = 520 cm^2$, die absolute Feldstärke $= 4000$; somit wird nach Vorigem:

$$\mathfrak{N} = 20 \times 40 \times 520 \times 4.000 = 1.664.10^6$$

und $M(E) = 10^{-8}.160.1.664.10^6 \doteq 2.600$ Volt sein.

b) Hinsichtlich der Grundgleichungen für die sonstigen, elektrischen Größen einer Wechselstrommaschine ist wohl zu unterscheiden, ob die Armaturspulen, bezw. der äußere Stromkreis Eisen enthalten oder nicht. Die elektromotorische Kraft E kann hiebei dem einfachen Sinusgesetze folgen, d. h. sie ist eine Sinusfunction der Zeit; sie kann aber in speciellen Fällen auch eine eigenthümliche, von der Gestalt und Entfernung der Magnetpole abhängige Form erhalten.

Die theoretischen Untersuchungen über Wechselstrommaschinen setzen nun alle die Sinusform für E voraus, weil die meisten üblichen Maschinen dem Sinusgesetze folgen und sich ebenso auch der Wechselstrom bei der Transformation mehr und mehr der Sinusform nähert.

Um zu untersuchen, ob eine Maschine dem Sinusgesetze folgt oder nicht, bezw. ob ihre elektromotorische Kraft eine Sinusfunction der Zeit ist oder nicht, kann man verschiedene Wege einschlagen.

Die erste Methode besteht darin, dass man die inducierte elektromotorische Kraft (oder die Stromstärke) experimentell in bestimmten Phasen der Bewegung ermittelt und sich graphisch den Verlauf der elektromotorischen Kraft (oder der Stromstärke) mit der Zeit construiert. Trägt man sich also die beobachteten Werte in einem Diagramme als Ordinaten auf, so muss man aus der erlangten Curve ersehen, ob dieselbe eine Sinuscurve darstellt oder nicht (Methode von Joubert).

Die zweite Methode besteht darin, dass man aus der experimentell ermittelten Vertheilung des Feldes die Abhängigkeit desselben und damit jene der elektromotorischen Kraft ableitet (Methode von Lenz).

Bei der Methode von Stefan werden die Beziehungen der Gesammtänderung des Widerstandes (W^2) mit dem reciproken Werte $\left(\frac{1}{M(i)^2}\right)$ des mittleren Quadrates der Stromstärke graphisch dargestellt, welche Darstellung bei sinoidalem Verlauf von E als charakteristisches Merkmal eine gerade Linie liefert.

Folgt nun α) eine Wechselstrommaschine dem Sinusgesetze, so lassen sich analog, wie beim Gleichstrome, die elektrischen Größen E, e, i und l (Seite 122) in ihrer Abhängigkeit von dem Gesammtwiderstande W, desgleichen auch die Charakteristik oder die Beziehung zwischen mittlerer elektromotorischer Kraft $M(E)$ und mittlerer Stromstärke $M(J)$ graphisch darstellen.

Fig. 247.

Letztere Charakteristik wird eine Ellipse (Fig. 247), u. zw. von immer größer werdenden Halbachsen, je größer die erregende Kraft (Feldintensität) der Wechselstrommaschine ist. Die Fig. 248 stellt die Abhängigkeit der mittleren Stromstärke J^1 von dem Gesammtwiderstande W dar, u. zw. für niedere (I) und höhere Tourenzahl (II). Bei constantem Erregerstrom ist die maximale elektromotorische Kraft proportional der Tourenzahl.

Fig. 248.

Ferner zeigt in Fig. 248 die Curve A den Verlauf der mittleren Arbeit an, welche Arbeit umso kleiner wird, je größer die Selbstinduction ist.

β) Folgt eine Wechselstrommaschine nicht dem Sinusgesetze, dann muss die Gesammtzahl der dem Wechselstrome J entsprechenden Kraftlinien als eine Function des Stromes aufgefasst werden, und es tritt in den analytischen Ableitungen statt $L\frac{di}{dt}$, der Ausdruck $\frac{d(Li)}{dt}$ auf.

Es lässt sich in diesem Falle der Begriff der Phasenverschiebung nicht mehr mathematisch genau definieren und es muss das Product der gemessenen Mittelwerte E^1 und J^1 noch mit einem sogenannten „Leistungsfactor“ multipliciert werden, um die wirkliche Leistung der Wechselstrommaschine zu erhalten.

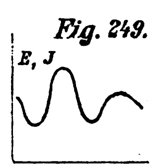


Fig. 249.

Die Beobachtungsresultate an solchen Maschinen zeigen, dass durch die Selbstinduction der Verlauf der Stromcurve J beträchtlich beeinflusst wird, wie dies die Fig. 249 andeutet. Außerdem wächst die Phasenverschiebung mit der Geschwindigkeit, und es wird die Selbstinduction trachten, die Curven der Stromstärke und der elektromotorischen Kraft auszugleichen, bezw. deren starke Variationen zu mildern.

Im allgemeinen kann man die complexen Formen von E^1 gewissermaßen als höhere Sinusfunctionen ansehen, welche aus einer Grundcurve und mehreren harmonischen, einfachen Sinuscurven zusammengesetzt, sich darstellen, analog wie man die zusammengesetzten Schwingungen einer Saite in einfache aufzulösen imstande ist.

4. Der Betrieb von Wechselstrommaschinen.

Derselbe ist im allgemeinen viel einfacher als jener der Gleichstrommaschinen, da hier der Commutator wegfällt. Hinsichtlich der Betriebsgröße (Leistung) und des Wirkungsgrades, dann der Betriebsverluste gilt für Wechselstrommaschinen das Analoge, wie solches bereits auf Seite 126 für Gleichstrommaschinen angeführt wurde.

Die mittlere Arbeit von Wechselstrommaschinen ist (nach Seite 155) $A = E^1 J^1 \cos \varphi$, woraus folgt, dass für gegebene Werte von E^1 und J^1 Wechsel-

strommaschinen größer und stärker gebaut werden müssen als Gleichstrommaschinen, bei welchen $A = E^1 J^1$ ist.

Die Arbeit einer Wechselstrommaschine hängt, wie schon die theoretischen Erläuterungen gezeigt haben, wesentlich von der Phasenverschiebung, bezw. von der Größe der Selbstinduction ab. Das Maximum der Arbeit wird geleistet, wenn $\varphi = 0$ wird. In diesem Falle bekommt man für die Arbeit die Curve in Fig. 230 auf Seite 154. Nimmt man jedoch an, dass J um $^1/_8$ der Periode zurückbleibt, also $\varphi = \frac{\pi}{8}$ wird, und zeichnet man sich im Diagramme Fig. 250 die Curve für die elektromotorische Kraft E und Stromstärke J, so zeigt sich, dass die, die Arbeit repräsentierende Fläche $E.J$ aus positiven und negativen Arbeitswerten sich zusammensetzt, die Wechselstrommaschine also nicht beständig Arbeit abgibt, sondern dies nur in dem positiven Theile thut, während sie im negativen Theile Arbeit aus dem Stromkreise aufnimmt. In diesem letzteren Falle wirkt sie als Motor und beschleunigt sich infolge der während der übrigen Zeit im Stromkreise aufgesammelten Energie, jedoch ohne Aufwand von äußerer Energie.

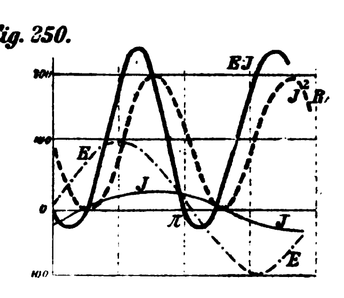


Fig. 250.

Zeichnet man sich den Arbeitswert $J^2 R$ ein, welcher im Gesammtwiderstande R (Ohm'scher + Selbstinduction) in Wärme verbraucht wird, so ergibt der Vergleich zwischen den Arbeitswerten $J.E$ und $J^2.R$, dass dieser letztere etwas geringer als jener von $J.E$ ist.

Würde man den Arbeitswert: gemessene Stromstärke mal gemessene Spannung ermitteln, so würde dieser ohne Berücksichtigung der Phasenverzögerung um etwa 41% größer als die mittlere Arbeit sein.

Der elektrische Wirkungsgrad gut gebauter Wechselstrommaschinen beträgt ungefähr 0·96.

Von den Effectverlusten, wie sie auf Seite 127 angeführt sind, machen sich bei Wechselstrommaschinen besonders jene durch die Einwirkung der körperlichen Induction (Wirbelströme) und der Hysteresis bemerkbar, welch letztere mit der Wechselzahl zunimmt. Mit der Wechselzahl wächst gleichzeitig auch der scheinbare Widerstand und damit der Spannungsverlust im Stromkreise.

Man geht erfahrungsgemäß bei Wechselstrommaschinen nicht unter 40 und nicht über 200 Wechsel; 80 Wechsel geben eine für den ruhigen Betrieb von Bogen- und Glühlicht entsprechende Wechselzahl.

Hinsichtlich der Leerlaufarbeit ist zu bemerken, dass diese bei erregten Feldmagneten größer als bei nichterregten ist.

Das Angehenlassen von Wechselstrommaschinen bei separater Erregung geschieht in der Weise, dass zuerst die Erreger-, und dann die Wechselstrommaschine in normalen Lauf gebracht wird.

Sodann wird die Erreger-(Nebenschluss-)maschine auf die zur Erregung der Feldmagnete nothwendige Spannung (etwa 80 bis 150 Volt) gebracht und die Erregermaschine mittels eines vorgeschalteten Handrheostaten auf die Feld-

magnete der Wechselstrommaschine geschaltet. Durch die Regulierung mittels dieses Rheostaten erfolgt die Herstellung der nothwendigen Erregerstromstärke.

Ist das Feld entsprechend geschaffen, so wird die Wechselstrommaschine nun auf den äußeren Stromkreis geschaltet, und hernach die nothwendige Stromstärke und Spannung des Wechselstromes erzeugt. Ist nur eine Wechselstrommaschine im Betrieb, so kann der Vorgang in der Weise vereinfacht werden, dass man gleich anfangs die Maschine auf ihren Stromkreis schaltet und durch Verstärkung der Magnetisierung mittels des Handrheostaten die Stromstärke und Spannung auf die erforderliche Höhe bringt.

Das Ausschalten der Wechselstrommaschine geschieht beim Einzelnbetriebe in der Regel durch allmälig Schwächung des Erregerstromes und schließlich durch das Ausschalten der Erregermaschine.

Während des Betriebes ist zu beachten: Richtige Einhaltung der Tourenzahl und richtige Einhaltung der Feldstärke, welche je nach der Belastung im äußeren Stromkreise reguliert wird. Bei Anwendung hoher Spannungen ist an den Schaltapparaten und Leitungen mit Rücksicht auf die persönliche Sicherheit Vorsicht zu beobachten.

Die Störungen, welche im Betriebe vorkommen können und welche die Wechselstrommaschine betreffen, sind ähnlich jenen, welche schon bei den Gleichstrommaschinen Seite 133 beschrieben wurden. Da hier hohe Spannungen vorkommen, so ist auf eine vorzügliche Isolierung der Stromleitungen und Apparate zu achten, damit kein Durchschlagen infolge der hohen Spannung eintritt. Ein Kurzschluss in der Leitung gefährdet übrigens die Maschine nicht in so hohem Grade, als dies bei der hohen Spannung zu erwarten wäre, indem die Selbstinduction in der Maschine und in den Apparaten (Transformatoren), wie ein Sicherheitsventil wirkt, und ein zu starkes Anwachsen der Stromstärke verhindert.

5. Regulierung von Wechselstrommaschinen.

Die Regulierung beim Wechselstrome umfasst, wie beim Gleichstrome, ebenfalls zwei Fälle, nämlich das Constanthalten der mittleren Stromstärke oder der mittleren elektromotorischen Kraft.

Bei der Wechselstrommaschine ist die elektromotorische Kraft nicht constant, sobald die Belastung der Maschine variiert. Diese elektromotorische Kraft zerfällt nämlich in zwei Theile, u. zw. einen für den äußeren Stromkreis und einen für die Maschine. Ist keine Phasenverschiebung vorhanden (wie z. B. beim Glühlampenbetriebe ohne Transformatoren), so ist die elektromotorische Kraft proportional den Widerständen vertheilt. Sind aber Phasenverschiebungen vorhanden, so wird die Vertheilung auf den Stromkreis eine ungleichartige sein. Die Maschine wird mehr belastet, wenn der äußere Widerstand sinkt, weil damit die Stromstärke und in weiterer Folge die Arbeit steigt. Nach der Curve (Fig. 247) steigt weiters die elektromotorische Kraft, bezw. Klemmenspannung mit der Zunahme der Stromstärke.

Umgekehrt wird, wenn die äußere Belastung zunimmt, die Erregung der Maschine (oder der magnetisierende Strom) verstärkt werden müssen, um die nothwendige elektromotorische Kraft, bezw. Spannung, zu erhalten. Ist sonach das magnetische Feld einer Wechselstrommaschine constant, so würde die Spannung der Maschine bei wachsender Belastung sinken, bei abnehmender

steigen. Die Spannung variiert also mit dem Spannungsverluste durch die variable Zahl der Verbrauchsapparate.

Das Constanthalten der Spannung einer Wechselstrommaschine lässt sich α) bei einfachen Anlagen ohne Transformatoren durch Ein- und Ausschalten von Widerstand in den Erregerstromkreis erreichen, welcher Widerstand den Magnetisierungsstrom ändert.

Das Constanthalten der Stromstärke im äußeren Stromkreise geschieht durch Variation eines in den Stromkreis geschalteten Rheostaten.

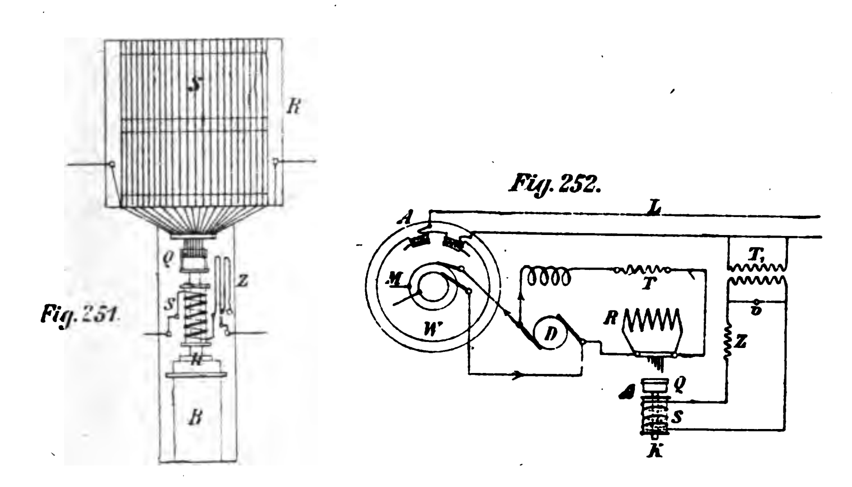


Fig. 251.
Fig. 252.

β) Im zweiten Falle, d. i. bei Anlagen mit Transformatoren, werden z. B. nach der Methode von Ganz & Cie. kleine Variationen der elektromotorischen Kraft automatisch durch einen „astatischen Widerstandsregulator“, Typ Bláthy (Fig. 251) ausgeglichen. Größere Änderungen werden durch die Regulierung von Hand aus compensiert.

Die Fig. 252 versinnbildlicht die genannte Reguliermethode. W ist die Wechsel-, D die erregende Gleichstrommaschine; R ist der Automatrheostat, T_1 ein Transformator, r und Z sind Zusatzwiderstände, v ist ein Spannungsmesser, L die Hauptleitung, welche an die Armatur A der Wechselstrommaschine anschließt. Die Schaltweise geht aus der Fig. 252 hervor.

Der selbstthätige Regulator (Fig. 251) besteht aus vielen Windungen dünnen Drahtes S, welche auf einem Rahmen aufgewickelt und nach Fig. 252 in den Nebenschluss der Erregermaschine D geschaltet sind. Ein Solenoid s wirkt auf einen durch den Auftrieb eines Schwimmers B ausbalancierten Eisenkern k, auf dem sich ein Quecksilbergefäß Q befindet. In dieses Gefäß tauchen die schief zugeschnittenen Enden der Widerstandsspiralen S ein. Wächst die Belastung im Leitungsnetze, so sinkt die Spannung in der Hauptleitung L und infolge dessen geht ein schwächerer Strom durch die Primärwicklung des Transformators T_1 (oder des sogenannten „Reductors“). Hiedurch wird auch der secundäre Strom von T_1 schwächer, und da der secundäre Strom durch das Solenoid s geht, übt das Solenoid eine geringere Wirkung auf k aus. Der Schwimmer B trachtet nun, den Eisenkern k und mit ihm das Gefäß Q

hinaufzutreiben, so dass jetzt mehr Contacte, bezw. Drahtspulen-Enden ins Quecksilbergefäß eintauchen und eine entsprechende Zahl von Widerständen s kurzgeschlossen oder ausgeschaltet wird. Mit dem Sinken der Spannung in der Lampenleitung L wird im Nebenschlusstromkreise der Erregermaschine D Widerstand ausgeschaltet und dadurch der Magnetisierungsstrom von D stärker. Es geht ein stärkerer Strom durch die magnetischen Felder M der Wechselstrommaschine und die Hauptspannung steigt wieder. Ist der Zusatzwiderstand Z (Fig. 252) verbraucht, so kann noch der Zusatzwiderstand r zur Regulierung von D verwendet werden.

Der Reductor T_1 hat den weiteren Zweck, den hochgespannten Strom der Hauptleitung L in niedergespannten für die Spule s umzusetzen.

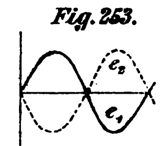
Soll die Stromstärke constant erhalten werden, so kann man dies entweder durch Regulierung eines in den Lampenstromkreis eingeschalteten Rheostaten erreichen, oder man benützt nach der Methode von Kennedy einen Transformator, dessen secundäre Bewicklungen im Nebenschluss zu den Maschinenklemmen geschaltet werden.

6. Die Schaltung mehrerer Wechselstrommaschinen.

Wechselstrommaschinen können hinter- oder nebeneinander geschaltet werden. Ersteres wird man nur für Zwecke der Kraftübertragung anwenden, während letzteres vielfach in Beleuchtungscentralen angewendet wird.

a) Die Hintereinanderschaltung ist nur möglich, wenn beide Maschinen directe mit einander gekuppelt sind, sie also eine gemeinschaftliche Welle besitzen. Ferner müssen beide Maschinen gleiche Periodenzahl, also gleiche Polwechselzahl und Phase besitzen. Der Grund liegt darin, dass, wenn eine Maschine in der Tourenzahl zurückbleibt, der nothwendige Zustand der Phasencoincidenz nicht aufrecht erhalten werden kann und die Phasen beider Maschinen sich endlich zu einander so verschieben, dass die elektromotorischen Kräfte e_1 e_2 (Fig. 253) beider Wechselstrommaschinen einander in der Phase entgegengesetzt erscheinen, also nach außen kein Strom geliefert wird[1].

Fig. 253.



b) Die Parallelschaltung ist ebenfalls nur bei Wechselstrommaschinen von gleicher Periodenzahl möglich. Damit solche Maschinen (ähnlich den hydroelektrischen Elementen) zusammengeschaltet werden können, müssen sie gleiche Phasen und gleiche Spannung haben.

In diesem letzteren Falle kann eine zuzuschaltende Wechselstrommaschine von der bereits arbeitenden weder Strom aufnehmen, noch an sie abgeben. Würde die Wechselstrommaschine z. B. jedoch mehr Kraft von der Dampf-

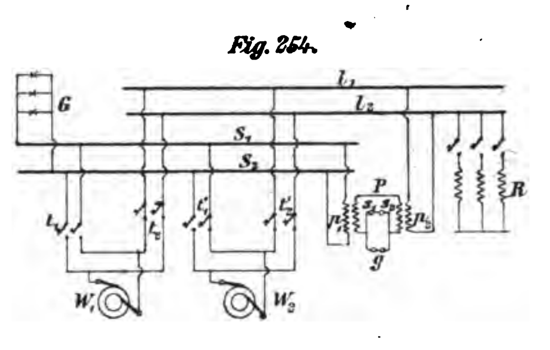
[1]) Würden die Maschinen keine gleichen Phasen haben, d. h. würde z. B. eine Maschine infolge geringerer Tourenzahl zurückbleiben, so würde die Phasendifferenz zwischen E und J geringer, hingegen die von der Maschine an den Stromkreis abgegebene Arbeit größer werden, welches Arbeitsäquivalent die Wechselstrommaschine von der Dampfmaschine aufzunehmen sucht. Durch die größere Arbeitsleistung bleibt aber die Maschine noch mehr in der Phase zurück und es kann ein Zustand eintreten, wo sich e_1 und e_2 (Fig. 253) vollständig aufheben. Es ist übrigens allgemein zu bemerken, dass Maschinen, welche in gleicher Phase (synchron) arbeiten, in diesem Zustande mit ziemlich großer Kraft zu verharren suchen, und es gehören schon arge Störungen dazu, um die Maschinen aus dem Synchronismus zu bringen.



maschine erhalten, sich also beschleunigen, so würde sie in der Phase voraneilen und hiedurch der anderen Maschine Strom abnehmen, wodurch das magnetische Feld geschwächt wird. Dies ergibt sich wieder aus einer einfachen Betrachtung des nach Fig. 250 zu construierenden Arbeitsdiagrammes. Es muss in einem solchen Falle die Erregung der Maschine wieder verstärkt werden, wenn die zuzuschaltende Wechselstrommaschine wirklich Arbeit leisten soll.

Zur Erkennung des Augenblickes, in welchem zwei Wechselstrommaschinen gleiche Phasen haben, bedient man sich des Phasenindicators P (Fig. 254), welcher aus zwei Transformatoren mit je zwei Bewicklungen p_1 p_2, s_1 s_2, besteht, wovon die primären p_1 p_2 von je einer der Wechselstrommaschinen gespeist werden, während die secundären Wicklungen mit vier Glühlampen g einen Stromkreis für sich bilden. (Statt g können auch Spannungsmesser oder akustische Signalvorrichtungen verwendet werden.)

Fig. 254.



In der Praxis wird nach dem Vorgange von Ganz & Cie. wie folgt, verfahren:

Es seien in Fig. 254, W_1 und W_2 die parallel zu schaltenden Wechselstrommaschinen, von welchen W_1 bereits auf die Sammelmaschine S_1 S_2 arbeitet. Ferner seien t_1 t'_1, t_2 t'_2 die den gezeichneten Maschinenleitungen entsprechenden Ausschalter, P der Phasenindicator. Soll nun Maschine W_2 zugeschaltet werden, so muss diese Wechselstrommaschine auf die vorgeschriebene Tourenzahl, Phase und Spannung gebracht werden. Es wird also W_2 mittels des Schalters t'_2 auf die Hilfsleitungen l_1 l_2 geschaltet, welche zu dem Rheostat R führen. Die Maschine wird nun so lange erregt, bis sie dieselbe Spannung wie die Betriebsmaschine W_1 hat. Ihre Belastung wird sodann durch Variation von R so lange geändert, bis sie auch die gleiche Phase hat. Dies erkennt man am Phasenindicator.

So lange W_2 und W_1 nämlich ungleiche Phasen haben, werden die Ströme in den secundären Spulen des Transformator P ungleiche Periodenzahl zeigen und die Glühlampen werden abwechselnd dunkel und hell sein. (Es tritt dieselbe Erscheinung, wie z. B. beim Schwingen zweier Stimmgabeln ein.) Die alternierend aufleuchtenden Glühlampen werden nun umso andauernder leuchten, je mehr sich die Phasen einander nähern, und es werden die Intervalle von einem Verschwinden des Lichtes bis zum nächsten immer länger werden. In demselben Momente nun, wo die beiden Maschinen gleiche Tourenzahl und gleiche Phase haben, werden die von W_1 und W_2 für die secundären Windungen des Transformators P gelieferten Ströme sich aufheben und es werden die eingeschalteten vier Glühlampen beständig dunkel bleiben. Es können übrigens die Lampen auch so geschaltet werden, dass sie im Momente der Phasengleichheit beider Maschinen hell sind.

Tritt dieser Zustand der Phasengleichheit ein, so werden die Maschinen zusammengeschlossen, indem man W_2 durch Schließen des Schalters t'_1 auf die Sammelschienen S_1 S_2 schaltet. Hierauf wird der Rheostat abgeschaltet.

Bei der Abschaltung einer Maschine wird in der Weise vorgegangen, dass man den Rheostatschalter der Maschine schließt, die entsprechende Rheostatbelastung einschaltet und hierauf den Sammelschienenschalter öffnet. Die Maschinen sind dann getrennt, und es kann die eine Maschine dann abgestellt werden.

D. Die mehrphasigen Wechselstrommaschinen.

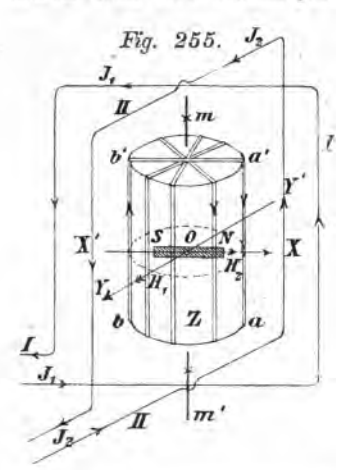
1. Princip des Drehfeldes[1]).

Aus der Combination von zwei oder mehreren Wechselströmen verschiedener Phase ist in neuester Zeit der „mehrphasige Wechselstrom" entstanden. Dieser verdankt sein Entstehen dem Bestreben, brauchbare Wechselstrommotoren zu erhalten.

In der Fig. 134 auf Seite 93 wurde gezeigt, dass, wenn man eine Kupferscheibe A in einem magnetischen Felde NS dreht, in der Scheibe Ströme auftreten, welche nach dem Lenz'schen Gesetze der drehenden Kraft Widerstand leisten werden. Denkt man sich nun umgekehrt, die Scheibe A stillstehend und das magnetische Feld NS um die Axe Z sich drehend, so muss aus dem vorangegebenen Grunde die Scheibe der Drehung folgen, also ebenfalls in Drehung gelangen.

Beim Mehrphasensysteme handelt es sich in erster Linie um die Herstellung eines rotierenden Feldes oder eines sogenannten „Drehfeldes". In diesem kann sich sodann jeder geschlossene Leiter drehen. Ein rotierendes Feld kann man erzeugen, wenn man in einem feststehenden, magnetischen Eisenkerne die Pole zur periodischen Drehung bringt.

Fig. 255.



Dies kann am einfachsten in nachfolgend beschriebener Weise durch die Anwendung zweier Wechselströme erreicht werden, welche in ihrer Phase um 90° verschieden sind.

In zwei Spulen von gleicher Windungszahl, welche in der Fig. 255 nur durch eine Windung I, II dargestellt seien, werden zwei Wechselströme von gleicher Periode, aber verschiedener Phase geleitet. Innerhalb der beiden Spulen oder Windungen sei ein eiserner Cylinder Z — aus von einander magnetisch isolierten, kreisförmigen Platten zusammengesetzt, — so angebracht, dass er sich um seine Axe mm' drehen kann. Überdies sei er mit Kupferstreifen oder Drähten aa' bb' u. s. f. in der Weise umwickelt, dass diese Streifen oder Drähte in der Manteloberfläche liegen, also

[1]) Siehe hierüber Dr. Sahulka: „Das Ferrant'sche Phänomen", Zeitschrift für Elektrotechnik, 1892.

eine sogenannte „Locharmatur“ bilden, und an den beiden Stirnseiten in irgend einer Weise durch eine Platte oder einen Stern mit einander verbunden werden, so dass man hiedurch eine **Armatur mit geschlossener Wicklung** erhält.

Wenn nun durch die beiden Windungen I und II zwei von einander unabhängige Wechselströme J_1 J_2 gesendet werden, deren Phasen aber um 90° verschieden sind (Fig. 256), so wird hiedurch ein „**Drehfeld**“ erzeugt und die Armatur gelangt in Rotation.

Fig. 256.

Das magnetische Feld würde bei der in der Fig. 255 dargestellten Anordnung, von oben angesehen, im Sinne des Zeigers einer Uhr sich drehen. Man kann sich die magnetisierende Wirkung der beiden Wechselströme J_1 J_2 auch ersetzt denken durch jene eines Magneten NS von constanter Feldstärke, welcher, von oben gesehen, sich um seinen Mittelpunkt O im Sinne des Zeigers einer Uhr dreht. Ändert man die Richtung der beiden Wechselströme, so ändert sich auch die Drehrichtung des Feldes.

Die Ursache der vorbeschriebenen Rotationsbewegung lässt sich nun in folgender Weise darstellen:

Der Wechselstrom J_2 in der Spule II ruft nach der bekannten Ampère'schen Schwimmregel offenbar ein periodisches magnetisches Feld in der Richtung XX' hervor, d. h. es wird die Polarität einer in der Mitte O befindlichen Magnetnadel, welche sich senkrecht zur Leiterfläche einstellen wird, einmal den Nordpol N nach rechts, dann nach links, wieder nach rechts u. s. f. zeigen. In gleicher Weise erzeugt der Wechselstrom J_1 ein periodisches Feld in der Richtung YY'.

Diese beiden Felder setzen sich nach dem Gesetze des Parallelogrammes zusammen und das resultierende magnetische Feld wird ein rotierendes; dasselbe beschreibt in der Zeit T (Dauer einer Periode) eine volle Umdrehung um die Axe mm'.

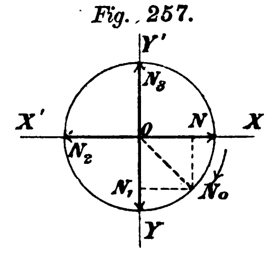
Letzteres geht aus nachfolgender Betrachtung hervor:

Da die Stromstärke $J_1 = J_0 \sin \dfrac{2\pi t}{T}$ oder einfacher $J_1 = J_0 \sin \alpha$ ist, wird für einen um 90° (oder $^1/_4$ Periode) in der Phase verschobenen Wechselstrom J_2:

$$J_2 = J_0 \sin \frac{2\pi}{T}\left(1 + \frac{T}{4}\right) = J_0 \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + 90^0\right) =$$
$$= J_0 \sin(\alpha + 90) = J_0 \cos \alpha.$$

In den Gleichungen bedeutet hiebei J_0 die Amplitude, T die Dauer der Periode und t die Zeit der augenblicklichen Phase.

Fig. 257.



Für die Zeit $t = 0$ wird $\alpha = 0$, $\sin \alpha = 0$ und $J_1 = 0$ sein, dagegen wird $\cos \alpha = 1$ und $J_2 = J_0$ ein Maximum werden. Tritt nun der Strom J_2 durch den Leiter II ein, so wird das von diesem geschaffene magnetische Feld offenbar durch die Linie OH_2 (Fig. 255) repräsentiert. In der Draufsicht des Cylinders (Fig. 257) stellt sich der Magnet NS in die Richtung ON (wobei zur Deutlichkeit der Figur für die Folge nur die Bewegung des Nordpoles dargestellt wird).

Zur Zeit $t = \frac{T}{4}$ wird $\alpha = 90^0$, $\sin\alpha = 1$, sonach $J_1 = J_0$; hingegen $\cos\alpha = 0$ $J_2 = 0$.

Das resultierende Feld wird in diesem Momente durch den Strom J_1 im Leiter I erzeugt und hat die Richtung ON_1. Zwischen dieser Zeit O bis $\frac{T}{4}$ ist das resultierende Feld ON_0 durch die beiden Werte J_1 und J_2 bestimmt.

Für $t = \frac{T}{2}$ wird $\alpha = 180^0$, $\sin\alpha = 0$, $J_1 = 0$, dafür

$$\cos\alpha = -1 \; J_2 = -J_0 \text{ sein.}$$

Da hier ein Stromwechsel eingetreten ist, wird der Magnet die Lage ON_2 einnehmen. Nach gleicher Ableitung wird seine Richtung für $t = \frac{3T}{4}$ durch ON_3, und für $t = 2T$ wieder durch die Lage ON bestimmt. Aus diesen verschiedenen Lagen ON bis ON_3 ersieht man, dass der Nordpol im Eisencylinder wandert, sich also um die Axe O dreht, u. zw. während der Dauer einer Periode, eine vollständige Umdrehung des Feldes vollführt. Dieses Drehfeld hat eine constante Intensität und eine gleichförmige Geschwindigkeit, jedoch nur bei der Voraussetzung, dass das sinus- und cosus - Gesetz gelten kann.

Würde man in den Raum innerhalb der beiden Spulen eine Magnetnadel bringen, so würde dieselbe rotieren; deshalb hat man auch diese Combination von zwei oder mehreren Wechselströmen verschiedener Phase „Drehstrom" genannt.

Um nunmehr die Wirkung des Drehfeldes (oder des äquivalenten rotierenden Magneten NS) auf die geschlossene Wicklung zu ersehen, denke man sich zunächst den Cylinder Z ruhig und den Pol N, der sich im Sinne des Zeigers einer Uhr bewegt, noch hinter der Papierebene. Es muss nach dem Lenz'schen Gesetze in der Windung aa^1bb^1 des Cylinders ein Inductionsstrom entstehen, welcher die Annäherung des Poles N hindert, sonach N abstoßt. Der Inductionsstrom hat also die Richtung a^1abb^1 [1]). Da nun die Bewegung des Magnetpoles N nicht gehindert werden kann, wird die bewegliche Windung a^1abb^1 abgestoßen und sucht sich daher in demselben Sinne zu drehen, wie der Magnet NS. Hat anderseits der Pol N die Ebene aa^1bb^1 durchschritten und ist seine Lage jetzt vor der Papierebene, so muss wieder in aa^1bb^1 ein Inductionsstrom entstehen, welcher die Entfernung des Poles N hindert, also N anzieht. Der entstehende Inductionsstrom hat sonach dieselbe Richtung wie früher. Da die Entfernung des Poles N nicht gehindert werden kann, wird die Windung aa_1bb_1 mitgezogen und sucht sich wieder in demselben Sinne zu drehen, wie der rotierende Magnet NS. Ebenso entstehen auch in den anderen geschlossenen Windungen ebensolche, aber schwächere Inductionsströme; der stärkste entsteht in jener Windung, welche parallel zur Richtung des Rotationsfeldes ist. In jener Windung, deren Ebene senkrecht zur Richtung des Feldes ist, entsteht kein Inductionsstrom.

---

[1]) Der Strom a^1abb^1 würde nach der Ampère'schen Regel links einen Nordpol geben, also einen gleichartigen Pol, welcher die Annäherung des Poles N hindern würde.



Die infolge dieser Inductionsströme entstehenden Drehmomente haben alle gleiche Drehrichtung und da der Eisencylinder mit der geschlossenen Wickelung fest verbunden ist, wird er in demselben Sinne rotieren, wie das Feld.

Auf diese Weise sind die Drehstrommotoren entstanden.

Würde man nun umgekehrt, ein magnetisches Feld innerhalb den zwei feststehenden Spulen drehen, so würden zwei in der Phase verschobene Wechselströme entstehen, und damit ein Mehrphasen-Stromerzeuger erhalten werden.

2. Mehrphasen-Stromerzeuger. Beschreibung und Betrieb.

Man kann nun jede Gleichstrom- oder Wechselstrommaschine als Mehrphasen-Stromerzeuger gebrauchen, wenn man am Anker derselben eine Anzahl von symmetrisch gelegenen Ableitungen anordnet.

Angenommen, es seien auf einem Ankerringe mit continuierlicher Bewicklung, welcher sich in einem magnetischen Felde NS (Fig. 259) bewegt, zwei Punkte AC mit zwei Ringen $c\,c_1$ verbunden, so erhält man, wie bekannt, einen Wechselstrom [1]), dessen gemessene, elektromotorische Kraft in jeder Anker-

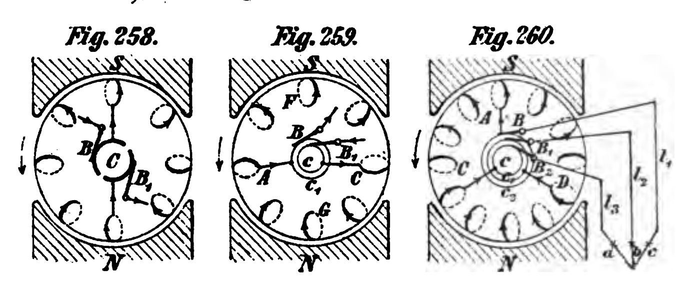


Fig. 258. Fig. 259. Fig. 260.

hälfte $E^1 = \frac{E}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}7\,E$ ist, und welche bei Hintereinanderschaltung beider Ankerhälften einen Gesammtwert $E_1 = 2\,E^1 = 1{\cdot}41\,E$ ergibt.

Nimmt man nun an vier, um 90° gegen einander verschobenen Stellen $ACGF$ (Fig. 259) Wechselstrom ab und verbindet die Punkte A mit C und F mit G so erhält man nach Fig. 261 zwei verkettete Wechselströme 1 — 1, 2 — 2, die in der Phase um 90° differieren, und von welchen der eine Strom stets dann den Maximalwert erreicht, wenn der andere den Wert Null erlangt hat.

Fig. 261.

Man nennt einen solchen Complex einen „Zweiphasen-Stromerzeuger".

Statt die vier Spulen wie vor zu verbinden, kann man auch zwischen AF, FC, CG, GA dem Anker Strom entnehmen und bekommt sodann einen „Vierphasen-Stromerzeuger".

Werden in Fig. 260 von drei, um 120° von einander abstehenden Punkten ACD der Ringbewicklung Wechselströme abgenommen, welche zu drei Schleif-

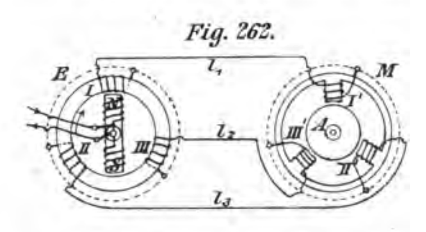
[1]) Die Figuren 258 bis 260 stellen die Vergleichsanordnung einer Gleichstrom-, mit einer einfachen Wechselstrom- und Mehrphasen-Strommaschine dar.



ringen $c\,c_1\,c_2$ führen, so entsteht ein „Dreiphasen-Stromerzeuger". Von den drei Ringen werden die Ströme durch die schleifenden Bürsten $B\,B_1\,B_2$ zu den drei Hauptleitungen $l_1\,l_2\,l_3$ des Systems geführt. Die elektromotorische Kraft ist in diesem Falle offenbar zwei Drittel der Totalspannung, wie sie sich als Amplitudenwert nach Fig. 211 ergibt; ihr gemessener Wert ist daher $E_3 = 0{\cdot}6\,E$.

Aus der Fig. 260 ist ersichtlich, dass die drei Ströme keine gleiche Phase haben können, da die Spulen zu verschiedenen Zeiten vor den Polen vorbeirotieren, und dass das Maximum des Stromes in den Spulen der Reihe nach und in gleichen Zeitintervallen erfolgt. Während einer Umdrehung wird sonach der Wechselstrom die Maschine immer bei zwei Bürsten verlassen und bei der dritten zurückfließen. Ebenso werden nach Fig. 262, in welcher, bei der in der Praxis üblichen Anordnung, die Spulen I, II, III feststehend und das Magnetfeld NS rotierend gezeichnet sind, zwei von den Leitungen $l_1\,l_2\,l_3$ stets als Hin-, die dritte als Rückleitung dienen. Da nun die drei Abzweigepunkte gegen die Magnetpole dieselbe Lage haben, so muss die Stärke des von den Punkten abgenommenen Stromes dieselbe, ihre algebraische Summe $\left(J - \frac{J}{2} - \frac{J}{2}\right)$ sonach gleich Null sein.

Fig. 262.

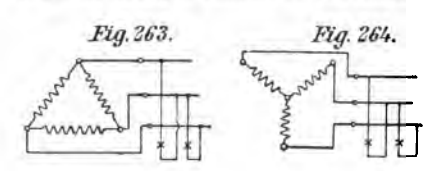


Man kann nun eine beliebige Anzahl (n) gleichmäßig auf dem Eisenring angebrachter Spulen verwenden und diese mit n Ableitungen versehen, so dass man n um $1/n$ Periode verschobene Wechselströme und sonach verschiedene Mehrphasenströme erhält. Die elektromotorische Kraft derselben ist: $E_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{n} E$, wenn n die Phasenzahl der entnommenen Wechselströme bedeutet.

In der Praxis geht man aber über das Dreiphasensystem nicht hinaus, da die Anwendung von Mehrleitern die Kosten solcher Anlagen wesentlich erhöht.

Man kann nun beim Mehrphasenstrome die einzelnen Spulen untereinander verschieden verbinden oder „verketten". Verbindet man das Ende einer Spule mit dem Anfange der nächsten, so dass eine geschlossene Wicklung entsteht, bei welcher je nach der Phasenzahl in geeigneten Abständen Abzweigungen zu den Schleifringen führen, so bekommt man die „geschlossene Verkettung" (auch Ring-, oder Dreiecksanordnung genannt). Denkt man sich die Ankerbewicklung aber in n Theile zerschnitten, deren Anfang zu je einem Schleifringe führt, während die Enden alle miteinander verbunden sind, so entsteht die „offene Verkettung" (oder die Sternanordnung). Fig. 263 stellt die erstere, Fig. 264 die letztere dar [1]. Ähnlich wie die Ringmaschinen kann nun jedes andere Maschinensystem, also auch die

Fig. 263. Fig. 264.



[1] Elektrotechnische Zeitschrift 1894.

Maschine mit Trommelarmatur etc., behandelt werden, wobei bemerkt wird, dass sich die Gleichstrommaschinen ihrer geschlossenen Anordnung wegen, mehr zur Ring-, die Wechselstrommaschinen zur Sternanordnung eignen.

Für den Zweiphasenstrom kann man auch gewöhnlichen Wechselstrom verwenden. In diesem Falle wird die Phasendifferenz durch Einschaltung von Inductionsspulen, von Condensatoren, durch ungleiche Zahl der Anker- und Magnetspulen, durch verschiedene Wicklungswiderstände u. dgl. m. erreicht.

Als Beispiel einer Mehrphasenstrommaschine, von welcher gegenwärtig verschiedene Constructionstypen bestehen, sei in der Fig. 265 ein Dreiphasenmodell der Firma Siemens & Halske angedeutet, das aus einem feststehenden äußeren Ring A und einem rotierenden, inneren sternförmigen Kern K besteht. Beide sind aus isolierten Eisenblechen zusammengesetzt. Der innere, auf einer Welle W sitzende Theil bildet das durch eine besondere Gleichstrommaschine zu erregende Magnetsystem. Er hat Polansätze E, deren Zahl je nach Größe und Umdrehungszahl der Maschine verschieden ist. Um diese Ansätze E sind die erregenden Windungen G gelegt, welchen Gleichstrom durch zwei Schleifringe ss zugeführt wird. Der äußere Ring A wird durch Bolzen zusammengehalten und enthält am innern Umfange Nuthen, u. zw. je drei für einen Pol, in welche Nuthen sodann die aus drei Gruppen bestehende Wicklung eingebettet ist.

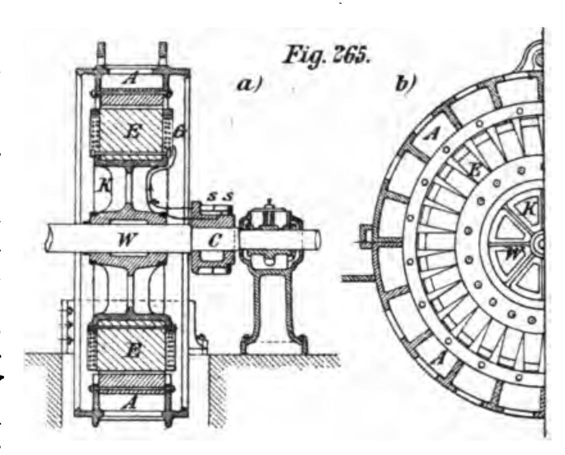
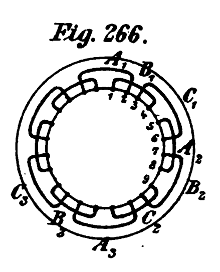


Fig. 265.

Die Wicklung geht aus dem Schaltschema (Fig. 266) eines 8-poligen Ankers hervor. Alle Spulen A, B, C sind hintereinander geschaltet und die Anfänge der entstehenden drei Abtheilungen zu den Klemmen der Maschine geführt, während die drei Enden in einem neutralen Punkte vereinigt sind (Sternschaltung). Die Drehstrommaschine folgt dem Sinusgesetze und kommt der Wirkungsgrad derselben jenem der Gleichstrommaschine gleich. Siemens & Halske bauen Drehstrommaschinen für eine Leistung von 28 bis 640 Kilowatt.

Fig. 266.



Der Betrieb von Drehstrommaschinen ist ähnlich jenem der Wechselstrommaschinen und erfolgt die Regulierung der Maschinenspannung durch die Nebenschluss-Regulierwiderstände des Erregers; ebenso erfolgt das Parallelschalten von solchen Maschinen mit Hilfe von Phasenanzeigern, u. zw. im Momente der Phasengleichheit.

Hinsichtlich der elektrischen Größen bei den zwei verschiedenen Schaltungsweisen des Drehstromes sei noch nachfolgendes bemerkt:

Bei der Dreiecks- oder Parallelschaltung (Fig. 412) ist die Spannung an den Enden der Nutzleitung E_1 gleich der Spannung E_a zwischen zwei beliebigen Hauptleitungen; die Stromstärke J_a in der Hauptleitung ist, weil je zwei Ströme einen Phasenunterschied von $\left(180 - \frac{2\pi}{3}\right) = 60^0$ haben, $J_a = 2 \sin 60^0 J_1 =$ $= 1{\cdot}732\ J_1$.

Bei der Stern- oder Reihenschaltung (Fig. 413) wird $J_a = J_1$, während $E_a = 2 \sin 60^0 E_1 = 1{\cdot}73\ E$ ist, wenn E_1 die Spannung in der Nutzleitung (d. i. von einer Klemme zum neutralen Punkt) darstellt.

Die Arbeitsleistung eines Drehstromsystems mit drei gleichmäßig belasteten Zweigen ist bei der Dreieckschaltung $A = 3\ J_1\ E_a \cos\varphi$, bei der Sternschaltung $A = 3\ J_a\ E_1 \cos\varphi$, wobei φ die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung bedeutet. Der Cosinus der Phasenverschiebung ist bei reinem Lichtbetrieb $\cos\varphi = 1$, hingegen bei Kraftbetrieb $\cos\varphi = 0{\cdot}7$, während bei gleichzeitigem Betriebe von Licht und Kraft $\cos\varphi$ zwischen diesen zwei Werten schwankt.

Bestimmt man sich die Arbeit aus dem Hauptleitungsstrome und der Systemspannung, so wird $A = 1{\cdot}73\ J_a\ E_a \cos\varphi$.

Der Spannungsverlust V auf dem Wege von den Drehstrommaschinen bis zu den Stromabnehmern, gemessen durch die Differenz der Spannungen zwischen zwei beliebigen Hauptleitungen an der Maschine und an den Stromabnehmern, ist $V = \sqrt{3}\,.\,W_a\ J_a \cos\varphi$, wenn W_a den Widerstand einer Leitung darstellt. Der procentuale Arbeitsverlust $A_p = e_p \cos^2\varphi$, wenn e_p den procentualen Spannungsverlust bedeutet.

Die Arbeit beim Zweiphasenstrom ist $W_2 = J_2\ E_2$, und gleich jener Arbeit, welche der Anker bei der Gleichstrommaschine leistet.

Bei gleicher magnetischer Beanspruchung verhalten sich die Leistungen der einfachen Wechsel- zur Zwei- und Dreiphasen-Strommaschine, wie 0·67 : 95 : 100 [1]).

Die Transformatoren.

Die Transformatoren, auch „Umformer" genannt, haben den Zweck, die von einer Elektricitätsquelle erzeugten Ströme von hoher Spannung in Ströme von niederer Spannung, oder aber eine Stromart in eine andere umzuwandeln. In letzterer Beziehung kann man gegenwärtig fast alle Stromarten in einander transformieren. So kann man Gleich-, in Wechselstrom oder umgekehrt, einen einphasigen Wechselstrom in zwei-, oder dreiphasigen, u. dgl. m. umwandeln. Im allgemeinen lassen sich vier Gattungen von Transformatoren unterscheiden, u. zw. *A.* Wechselstrom-, *B.* Mehrphasenstrom-, *C.* Gleichstrom- und *D.* Wechselstrom-Gleichstrom-Transformatoren (oder Umsetzer).

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1894, 1895.

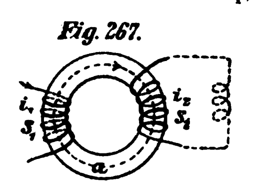


A. Wechselstrom-Transformatoren.

1. Princip.

Das Princip derselben beruht auf der Magnetinduction. Es sei in der Fig. 267 ein Eisenring *a* gegeben, der mit zwei Wicklungen S_1 und S_2 versehen ist. Sendet man in die primäre Wicklung S_1 einen Wechselstrom i_1, so wird derselbe im Eisenring ein periodisch variierendes magnetisches Feld erzeugen. Infolge der Schwankungen dieses Feldes werden in der secundären Spule S_2 elektromotorische Kräfte induciert, welche ebenfalls alternierender Form sind. Würde man nun S_2 durch einen (äußeren) Widerstand schließen, so würde in S_2 ein undulierender Inductionsstrom i_2 auftreten. Dieser secundäre Inductionsstrom i_2 steht nun mit dem primären Wechselstrom i_1 im Zusammenhange, wie dies sich aus der Betrachtung der Stromverhältnisse, dann der im primären und secundären Stromkreise vorkommenden Selbst- und gegenseitigen Induction ergibt. Hat angenommener Weise die secundäre Spule S_2 die gleiche Windungszahl, wie die primäre, so wird in ihr eine elektromotorische Kraft induciert, welche gleich der in der primären Wicklung aufgewendeten Spannung ist.

Fig. 267.



Die im primären Stromkreise vorhandene elektromotorische Kraft e_1 (bezw. bei kleinem inneren Widerstande die Klemmenspannung) dient zur Überwindung des meist sehr kleinen Ohm'schen Widerstandes und der Selbstinduction, bezw. zur Erzeugung des periodischen Feldes im Eisenringe *a*. Gehen nun sämmtliche Kraftlinien des letzteren durch die secundäre Spule S_2, so muss bei gleich viel Windungen, die in der secundären Spule S_2 erzeugte elektromotorische Kraft e_2 gleich der primären elektromotorischen Kraft, bezw. Spannung sein [1]).

Hat jedoch die secundäre Spule *n* mal soviel Windungen wie die primäre so muss die inducierte elektromotorische Kraft *n* mal so groß sein, als die Primärspannung; hat sie umgekehrt nur $\frac{1}{n}$ Windungen, so ist e_2 auch nur $\frac{1}{n}\ e_1$.

Die Wechselstromumformer oder Transformatoren geben sonach das Mittel an die Hand, die elektromotorische Kraft zu ändern, oder sie im beliebigen Verhältnisse umzusetzen.

Man nennt nun das Verhältnis der elektromotorischen Kräfte ($E_1\ E_2$) beider Wicklungen, welche Kräfte durch den primären Wechselstrom erzeugt werden und welches Verhältnis den Windungszahlen $S_1\ S_2$ proportional gesetzt werden kann, den „Transformations-Coëfficienten“. Dieser ist verschieden; meist beträgt er in der Praxis 1 : 10; 1 : 20; 1 : 30. Hat z. B. ein Umformer primär 1000 Windungen und soll er im Verhältnis 1 : 10 umsetzen, so hat er 1000 : 10 = 100 secundäre Windungen.

Da nun diese Umsetzung infolge von Verlusten durch den Ohm'schen Widerstand, durch Hysteresis und körperliche Induction keine vollkommene sein

[1]) Derlei Transformatoren haben nur für die Hintereinanderschaltung von Transformatoren eine Bedeutung. (Typ Gaulard & Gibbs etc.)

kann, so ist die in der secundären Spule abgegebene Energie stets kleiner, als die in der primären Spule verbrauchte.

Man kann praktisch aber Transformatoren so bauen, dass dieser Energieverlust bei Vollbelastung nur 2·5 bis 5% der primären Arbeit beträgt.

Analytisch wird sich die aufgewendete primäre Arbeit, bezw. deren Mittelwert zusammensetzen aus:

$$M(E^1 J^1) = M(e_2 i_2) + M(i_1^2 \rho_1) + + M(i_2^2 \rho_2) + Q,$$

wobei Q die Größe der Verluste (durch Hysteresis) und ρ_1, ρ_2 die Widerstände der beiden Spulen darstellen.

Bei Annahme einer bestimmten gegebenen Energie, kann man mittels der Transformatoren schwächere Ströme von hoher Spannung in solche von geringer Spannung oder umgekehrt, umformen. Ist η der Transformations-Coëfficient oder das „Umsetzungsverhältnis“, so wird allgemein $e_2 = \eta e_1$ und $i_2 = \frac{i_1}{\eta}$ sein. Man nennt die Umformer mit der zuerst bezeichneten Art der Umsetzung die eigentlichen „Transformatoren“, während sie im zweiten Falle „Inductionsapparate“ heißen.

2. Constructionsverhältnisse.

Hinsichtlich der Construction von Wechselstrom-Transformatoren ist allgemein zu bemerken, dass die in Fig. 267 dargestellte, principielle Form praktisch unrationell ist, da einerseits Kraftlinien durch Streuung in die Luft verloren gehen, anderseits die im Eisenringe *a* auftretenden Foucault'schen oder Wirbelströme das nicht untertheilte Eisen stark erhitzen werden.

Man ordnet daher bei den gegenwärtig in der Technik verwendeten Transformatoren geschlossene und untertheilte Eisenkerne an und umwickelt dieselben ganz mit den primären und darüber mit den secundären Windungen. Hiedurch erhält man pollose Eisenkerne.

Die Anforderungen für die Construction der Umformer hängen weiters von den Rücksichten ab, welche man den elektrischen Betriebsgrößen geben will. Beeinflussend sind hiefür die maximale Stromstärke, die Klemmenspannung und die Zahl der Stromwechsel, endlich die Form des Transformators. Während die Stromstärke den Drahtquerschnitt und im Vereine mit dem Widerstande der Wicklung, den Spannungsverlust (0 — 1·1%) im Transformator bestimmt, nimmt man die Klemmenspannung nach Zulässigkeit möglichst hoch, um bei gegebener Stromstärke die größte Capacität des Transformators zu erlangen.

Die Stromwechselzahl ist durch die Hysteresis beschränkt, welch letztere herabzudrücken man für die Transformatoren immer bestes Schmiedeeisen verwendet. Je höher die Stromwechselzahl genommen werden kann, desto größer wird die Capacität des Transformators sein, da bei gegebener Stromstärke die Spannung annähernd proportional der Stromwechselzahl wird. In der Praxis geht man mit der Stromwechselzahl nicht unter 80 und nicht über 200 pro Secunde.

Grundsatz ist, dass jede Windung der primären und secundären Bewicklung ein und dieselbe elektromotorische Kraft besitzen soll, weil alle Windungen die gleiche Zahl magnetischer Kraftlinien umschließen sollen. Dadurch, dass man weiters den Widerstand der beiden Wicklungen möglichst klein hält, hat

man gleichzeitig eine bemerkenswerte Eigenschaft, nämlich jene der **Selbstregulierung der Transformatoren**, erlangt.

Angenommen, es sei in Fig. 268 der secundäre Stromkreis S_2 des Transformators offen und die primäre Spule S_1 an ein Wechselstromleitungsnetz angeschlossen, so wird, weil die Selbstinduction der primären Spule beträchtlich ist, der primäre Strom i_1 gering und der Arbeitsaufwand für die beständige Magnetisierung des Eisenkernes in S_1 auch gering sein.

Fig. 268.

In der secundären Spule S_2 wird eine elektromotorische Kraft e_2 induciert, welche von der Kraftlinienvariation abhängig, offenbar entgegengesetzt der primären ist, und dann ein positives Maximum erreicht, wenn der primäre Strom abnimmt, also durch Null hindurchgeht, hingegen ein Minimum erreicht, wenn der primäre Strom zunimmt und durch den zweiten Nullwert geht.

Schließt man den secundären Stromkreis S_2 durch einen Widerstand R (Fig. 268), so wird durch R ein Wechselstrom i_2 fließen, und es wird jetzt die Magnetisierung des Ringes a durch den primären **und** secundären Strom eintreten. Die letztere hat aber den entgegengesetzten Richtungssinn jener durch i_1. Infolge dessen wird das magnetische Feld im Ringe a geschwächt, u. zw. umso stärker, je kleiner R und damit je größer i_2 wird. Wird das Feld im Ringe schwächer, so erhält der scheinbare Widerstand der primären Spule eine kleinere Selbstinduction, und es wird infolge des kleiner gewordenen Widerstandes auch ein stärkerer Strom durch die primäre Wicklung fließen. Schließt man die secundäre Wicklung kurz, so würde sowohl der secundäre als auch der primäre Stromkreis eine beträchtliche (und gefährliche) Größe erlangen.

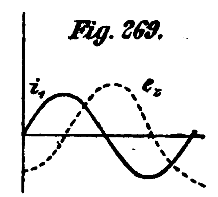


Fig. 269.

Bei Schließung des secundären Stromkreises durch einen geringen Widerstand wird weiters die Phasenverschiebung von i_2 gegenüber i_1, welche stets $> 90^\circ$ und $< 180^\circ$ sein muss, umso kleiner werden, je größer der secundäre und damit der primäre Strom wird.

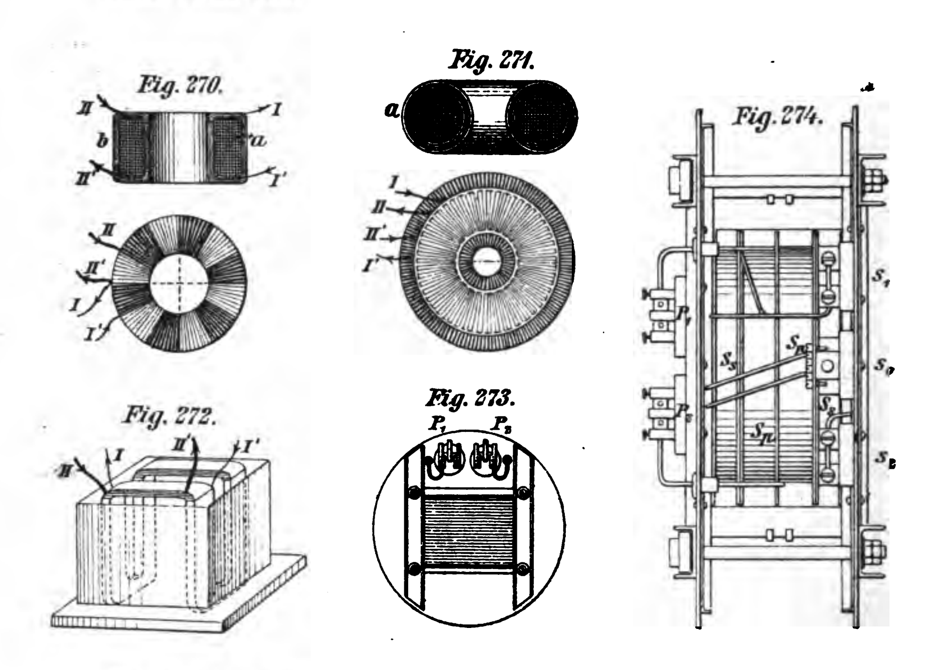
Dieser Zusammenhang hat nun einen besonderen Wert dann, wenn die Klemmenspannung im secundären Stromkreise **constant** gehalten werden soll, wie dies z. B. für Glühlichtanlagen nothwendig ist. In diesem Falle kann man bei constant gehaltener, primärer Klemmenspannung die secundäre unabhängig von der Belastung machen; denn je mehr Glühlampen zu- oder ausgeschaltet werden, je größer oder kleiner also die Belastung und damit je kleiner oder größer der Widerstand im secundären Stromkreise wird, umso größer oder kleiner wird (durch Selbstregelung) sowohl die primäre, als auch die secundäre Stromstärke. Damit entspricht einer Abnahme der Nutzleistung auch eine Abnahme der zugeführten, primären Energie. Letztere Eigenschaft ist ein wesentlicher Vorzug der Wechselstrom-Transformatoren, welche nur den einen Nachtheil besitzen, dass im primären Stromkreise auch dann Arbeit geleistet wird, wenn im secundären nichts eingeschaltet ist.

Schließlich sei noch erwähnt, dass man die Normalleistung eines Transformators derart fixiert, dass dessen Temperaturerhöhung max. 80° C. erreicht.

3. Beschreibung der Transformatoren.

Von den in der Praxis vorkommenden, vielen Typen sollen jene von Ganz & Cie. näher beschrieben werden.

Diese Firma baut zwei Hauptformen von Transformatoren.



Bei der ersteren — den Kern-Transformatoren (Fig. 270), — wird der ringförmige Eisenkern a aus von einander isolierten Eisenbändern oder ringförmigen Blechscheiben gebildet. Dieser Eisenkern ist mit isoliertem Draht b — ähnlich einem Gramme-Ringe — derart umwickelt, dass der Strom in allen Windungen gleichzeitig in derselben Richtung um den Eisenkern circuliert. Die primären und secundären Windungen sind entweder in getrennten Lagen vertheilt oder bilden Spulen in Sectorform. Bei den neueren Typen (Figuren 273, 274) sitzen vier Spulen S_p, S_s auf einem doppelten E-förmigen Eisengestelle, wobei die beiden mittleren Spulen S_p den hochgespannten Strom, die beiden äußeren S_s den secundären Strom führen. Die Zuleitung zu den primären Spulen erfolgt durch Steckcontacte P_1 P_2, welche gleichzeitig Bleisicherungen enthalten.

An die secundäre Leitung sind drei Klemmen s_0 s_1 s_2 angeschlossen, von welchen die äußeren Klemmen Bleisicherungen enthalten, und von welchen drei Klemmen nach Bedarf ein Dreileitersystem mit je 50 Volt abgeführt werden kann. Hiedurch können einzelne Bogenlampen auf 50 Volt und zwei Bogenlampen unabhängig von einander auf 100 Volt geschaltet werden. An den Klemmen s_1 s_2 kann jedoch auch ein Zweileitersystem angeschlossen werden.

Bei der zweiten Hauptform — den Mantel-Transformatoren (Fig. 271), — ist die Umkehrung der ersten Construction ausgeführt worden. Hier werden die inducierenden und inducierten Kupferdrähte derart mit Eisen-

massen dicht umhüllt, dass sie den magnetischen Kraftlinien geschlossene Bahnen bieten und jene der Wirbelströme ganz abschneiden.

Zu diesem Zwecke werden isolierte Drähte oder Eisenbleche senkrecht zu den Kupferdrähten angeordnet und der ringförmige Kern (aus isolierten Kupferdrähten erzeugt) möglichst dicht mit isolierten Eisendrähten umwickelt. Modificiert wird bei neueren Constructionen diese Form dadurch, dass statt der Eisendrähte vortheilhafter durchlochte Eisenbleche angewendet werden.

Es entstehen dann die sogenannten Kasten-Transformatoren, von welchen die Fig. 272 eine principielle Darstellung gibt. Eine solche Anordnung ist wegen ihrer leicht zu erreichenden, vorzüglichen Isolation zwischen Primär- und Secundärwindung, dann wegen ihrer leichten Herstellbarkeit und leichten Durchführung von Reparaturen bemerkenswert. Ganz & Cie. bauen Typen für: 1.000, 1.875, 2.000, 2.500, 3.750, 4.000, 5.000, 7.500, 8.000, 10.000 und 15.000 Watt Leistungsfähigkeit.

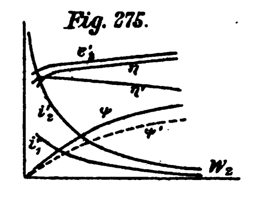
4. Theorie der Transformatoren.

Abstrahiert man von den etwas complicierten, algebraischen Theorien über Wechselstrom-Transformationen, so kann man sich über die Vorgänge in den Transformatoren, sowie über die Änderungen in dem Verlaufe der primären und secundären Stromstärke, der primären und secundären Klemmenspannung, der Stromarbeit und des Nutzeffectes, sowie der Phasenverschiebungen zwischen primärer Stromstärke und Klemmenspannung bei Änderung des Gesammtwiderstandes im secundären Stromkreise, am zweckmäßigsten durch graphische Darstellung der experimentell erlangten Daten ein anschauliches Bild machen.

Allerdings ändern sich hiebei die Verhältnisse, je nachdem die Effectverluste durch Hysteresis etc. beachtet werden oder nicht, oder die elektromotorische Kraft der mit den Klemmen des Transformators verbundenen Wechselstrommaschine dem Sinusgesetze folgt oder nicht.

Nimmt man einen Transformator mit gegebenen Constanten und von constanter Primärspannung an und folgt der Generator dem Sinusgesetze, so zeigt das Diagramm in Fig. 275 den durch die Änderung des Gesammtwiderstandes W_2 im Secundärkreise bedingten Verlauf der mittleren Stromstärken i'_1 und i'_2, der Spannung e'_2, des Wirkungsgrades η und der Phasenverschiebung ψ zwischen primärer Stromstärke und primärer Klemmenspannung. Man sieht aus dem Diagramme, dass die mittlere Stromstärke i'_1 i'_2 beim Kurzschlusse der secundären Wicklung sehr hoch ist, sodann aber constant abnimmt. Die secundäre Klemmenspannung e'_2 wächst anfangs sehr rasch und hält sich hierauf constant; desgleichen der Wirkungsgrad η, der bei Öffnen des secundären Stromkreises auf Null herabfällt.

Fig. 275.



Es besitzen nach Vorstehendem die Transformatoren die wichtige Eigenschaft, bei constanter primärer Klemmenspannung einen sehr hohen Wirkungsgrad zu erreichen, weiters jene, dass die secundäre Klemmenspannung sich um nur Geringes ändert, wie auch die Belastung variiert. Zieht man die zuvor vernachlässigten schädlichen Arbeitsverluste jedoch in Erwägung, so bestehen nur geringe Unterschiede gegenüber den in Fig. 275 dargestellten Ergebnissen;

die Curven der Stromstärken und des Effectes liegen wohl etwas höher, nehmen aber mit zunehmendem Widerstande rascher ab. Der Wirkungsgrad hat sodann den Verlauf der Curve η', während die Phasenverschiebung ψ' der primären Stromstärke zur primären Klemmenspannung weniger schnell zunimmt.

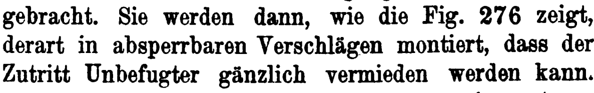
Bei experimentellen Untersuchungen oder Messungen an Wechselstrom-Transformatoren wird es sich meist um die Ermittlung des Wirkungsgrades bei verschiedener Belastung, welcher bei guten Constructionen etwa 96% beträgt, und damit um die Bestimmung der beim Transformatorbetrieb vorkommenden Arbeitsverluste (durch Stromwärme und Hysteresis) handeln.

Die an den Primärklemmen eingeleiteten und von den Secundärklemmen abgegebenen Effecte $A_1 = i'_1\, e'_1 \cos \varphi_1$ und $A_2 = i'_2\, e'_2 \cos \varphi_2$ lassen sich unter Anwendung eines Wattmeters erhalten. Annähernd kann man sie bei starker Belastung des Transformators auf inductionsfreiem Stromkreise (Glühlampen) auch aus dem Producte $J'_1 \times e'_1$ oder $J'_2 \times e'_2$ erhalten, wobei man $J'_1\, J'_2$ calorimetrisch oder dynamometrisch, $e'_1\, e'_2$ durch ein, bei hoher Primärspannung jedoch durch einen kleinen Transformator reduciertes Cardew'sches Voltmeter ermittelt. Die durch Stromwärme und Hysteresis entstehenden Verluste $A_1 - A_2$ können durch Anwendung eines Calorimeters gemessen werden.

5. Montage und Betrieb.

Die Aufstellung der Wechselstrom-Transformatoren geschieht in verschiedener Weise, u. zw. bei oberirdischer Leitungsführung auf Säulenköpfen, Consolen, bei unterirdischer Leitung in Erdkästen oder in den Füßen der Bogenlichtsäulen.

Bei Installationen in Häusern werden sie meist in trockenen Kellern oder in solchen Räumen, welche schwer und selten begangen werden, untergebracht. Sie werden dann, wie die Fig. 276 zeigt, derart in absperrbaren Verschlägen montiert, dass der Zutritt Unbefugter gänzlich vermieden werden kann.



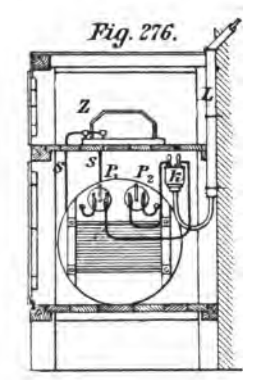


Fig. 276.

In Fig. 276 ist der Transformator im unteren Theile des Kastens eingebaut, während im oberen Theile ein Elektricitätszähler Z einmontiert ist.

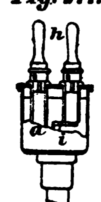
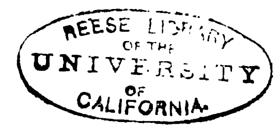


Fig. 277.

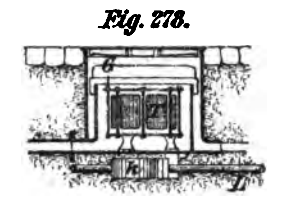
Die von außen zugeführte Primärleitung endet an einem Endverschluss k (Fig. 276), bei welchen man mittels der Handhaben h (Fig. 277), sowohl den Innen-, wie Außenleiter (i, a) des concentrischen Kabels unterbrechen kann. Von diesem Endverschluss k führen kurze Kabelstücke zu den Klemmen $P_1\, P_2$ des Transformators. Der Anschluss wird durch Steckcontacte bewirkt, welche Bleidrähte als Sicherungen enthalten, die in Ebonitröhren eingeschlossen sind und mittels eines isolierten Handgriffes zwischen die zwei Klemmen der Steckcontacte $P_1\, P_2$ (Fig. 273) gesteckt werden.



Als Secundärsicherungen dienen, wie beim Gleichstrome, entsprechend dimensionierte Bleidrähte oder Bleche. Fig. 278 stellt eine Transformatorenmontage in einem Erdkasten dar. *T* ist der Transformator, *G* das Gehäuse, *L* die Kabelleitung.

Die Wechselstrom-Transformatoren bedürfen keiner besonderen Wartung. Sollen sie in den Primärstromkreis eingeschaltet werden, so geschieht dies mittels der vorerwähnten Steckcontacte. Hiebei ist natürlich die äußerste Vorsicht nothwendig. Das Ausschalten der Primärleitung geschieht durch Entfernen der Steckcontacte.

Fig. 278.



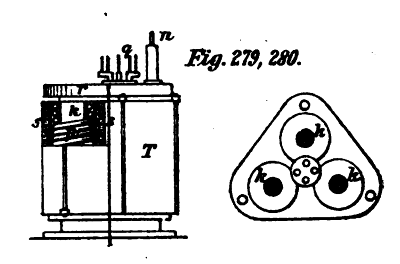
Störungen, welche beim Betriebe vorkommen können, sind starke Wärmeentwicklung, hervorgerufen durch übermäßige Belastung. Dies kann eine Beschädigung der Isolation und sodann entweder einen Kurzschluss einzelner, oder mehrerer primärer oder secundärer Windungen herbeiführen. Infolge dessen tritt ein abnorm starker Strom in den Transformator ein, was zur Folge hat, dass entweder die primäre oder secundäre Bleisicherung oder auch beide schmelzen. Feuchtigkeit ist dem Transformator schädlich.

B. Die Mehrphasenstrom-Transformatoren.

Dieselben sind Wechselstrom-Transformatoren für mehrphasigen Wechselstrom. Sie sind ähnlich den gewöhnlichen Wechselstromumformern gebaut, unterscheiden sich von diesen jedoch durch die größere Zahl der Eisenkerne und zugehörigen Wicklungen, welch' letztere die den Mehrphasen-Maschinenankern eigenthümliche Schaltungsweise erhalten. Die Umformerkörper werden entsprechend der angewendeten hohen Spannung verschiedenartig versichert.

Als Beispiel ist in der Fig. 279 und 280 ein Drehstrom-Transformator, Typ Oerlikon, dargestellt, wie solcher bei der Ausstellung 1892 zu Frankfurt a/M. Verwendung fand.

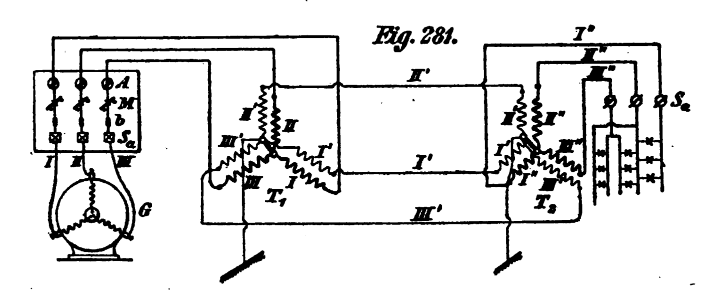
Fig. 279, 280.



Derselbe besteht aus drei verticalen, in den Ecken eines gleichseitigen Dreieckes aufgestellten Säulen *k*, welche oben und unten schmiedeeiserne Schlusstücke *r* erhalten haben. Die primäre *p* und secundäre Wicklung *s* sind auf den drei Kernen *k* aufgebracht, u. zw. befindet sich die Primärwicklung innerhalb der Secundärwicklung. Die Wicklungen sind untereinander in Sternschaltung verbunden (Fig. 281). Als Isolationsmittel zwischen den Spulen einerseits und dem das ganze System einschließende Gehäuse *T* dient ein Isolieröl. Die Außenleitungen werden durch Glas-Isolatoren *n* ins Innere geführt und an entsprechenden Anschlüssen montiert. Die secundären Leitungen zweigen an den Klemmen *q* ab. Die neutralen Punkte sind an Erde angelegt, wie dies auch aus dem



Schaltschema (Fig. 281) hervorgeht, welches die Anordnung der Transformatoren im Maschinenstromkreise andeuten soll. In der Fig. 281 bedeutet:



G die Drehstrommaschine, T_1 T_2 die Transformatoren, M und S_a sind Maxima- und Minima- Ausschalter, b Bleisicherungen, I, II, III u. s. w. die drei Stromleitungen.

C. Die Gleichstrom-Transformatoren.

Dieselben haben ebenfalls den Zweck, Ströme von hoher Spannung in solche von niederer Spannung umzuformen. Sie unterscheiden sich von den Wechselstrom-Transformatoren (oder dem Systeme der ruhenden Transformation) dadurch, dass sie infolge der Bewegung ihrer Theile wieder compliciertere Einrichtungen, wie Collectoren und Bürsten, erfordern.

In der Praxis kommen die Gleichstromumformer in folgenden Variationen vor:

a) Entweder sind zwei Dynamomaschinen mit einander mechanisch verbunden, dann wird eine Dynamomaschine als Motor angetrieben, welcher die Kraft für den Antrieb der zweiten Dynamo abgibt, die für eine höhere (oder niedere) Spannung als die erste Dynamo gewickelt sein kann, oder

b) zwei Dynamo-Armaturen mit gemeinsamem Magnetgestell sitzen auf einer Welle (Motordynamo), oder

c) eine Dynamo hat zwei Ankerbewicklungen, von welchen jede ihren Commutator und ihre Bürsten besitzt. Die eine Wicklung stellt den Primärstromkreis dar, welcher den Inductor in Bewegung setzt, während die zweite Bewicklung den secundären Strom für die Verbrauchsapparate liefert und durch entsprechende Bürsten abgeleitet wird. Man hat durch verschiedenartige Anordnung der Wicklungen, Anwendung von rotierenden Bürsten versucht, diese Transformatorentype zu verbessern.

d) Endlich kann man auch noch eine Dynamomaschine mit einem Sammler (Accumulatorbatterie) verbinden, indem man hochgespannten Gleichstrom durch eine Fernleitung in eine große Accumulatorenbatterie sendet und sodann von beliebigen Zellen die erforderlichen Spannungen abnimmt. Außer diesen vorbezeichneten Umformern gibt es noch andere, specielle Umformer.

Die Gleichstromumsetzer haben aber gegenüber den Wechselstrom-Transformatoren den Nachtheil, dass sie stets einer Wartung bedürfen, sonach ein vermehrtes Bedienungspersonale erfordern und einer größeren Abnützung unterworfen sind.

D. Wechselstrom-Gleichstrom-Transformatoren.

Dieselben haben den Zweck, durch mechanische Verbindung einer Wechsel-, mit einer Gleichstrommaschine entweder Wechsel- in Gleichstrom oder umgekehrt, umzusetzen.

Die Verbindung beider Maschinen kann durch Riementransmission oder durch den Aufbau beider Maschinen auf dieselbe Welle erfolgen.

Lauft die Wechselstrommaschine als Motor, so gibt die mit ihr verbundene Gleichstrommaschine Gleichstrom und umgekehrt.

In neuerer Zeit hat die Firma Ganz & Cie. einen „rotierenden Gleichstrom-Wechselstromumformer“ construiert, welcher aus einer einzigen elektrischen Maschine besteht. Der Grundgedanke ist der, dass ein rotierender Gramme-Ring, sowohl Gleich-, als auch Wechselstrom liefern kann, wenn man die Stromableitung entweder mittels eines Collectors oder mittels zweier Schleifringe vornimmt. Ein solcher Ring, der in einem magnetischen Felde rotiert, ist nun auf der einen Seite mit einem Collector, auf der anderen mit zwei Schleifringen versehen. Wird Gleichstrom auf der Collectorseite eingeführt, so kann man an den Schleifringen Wechselstrom abnehmen. Umgekehrt erhält man, wenn der Apparat von der Schleifringseite als Wechselstrommotor rotierend getrieben wird, auf der anderen Seite Gleichstrom. Es ist auch möglich, den Apparat von der gleichen Stromseite in Bewegung zu setzen und die Umdrehungszahl so lange zu steigern, bis die Polwechselzahl dieselbe, wie jene in der Wechselstromleitung ist. Mittels eines Phasenindicators kann man hierauf im gegebenen Momente den Umformer mit der Wechselstromleitung verbinden, so dass nunmehr die Gleichstromleitung mit der Wechselstromleitung durch den Umformer verbunden ist, und man kann nun die eine oder andere Seite unterstützen.

Die galvanischen Elemente.

I. Primäre Elemente.

1. Allgemeines. Polarisation.

Nach Seite 16 kann durch die Berührung, bezw. chemische Zersetzung zweier heterogener Körper ebenfalls eine elektromotorische Kraft erzeugt werden, welche in einem Leiterkreise einen elektrischen Strom liefert. Hiebei wird an der Berührungsstelle chemische Arbeit geäußert werden.

Auf diesem Principe basieren nun die Primär- oder galvanischen Elemente, die gewöhnlich aus zwei materiell verschiedenen Leitern (Elektroden) bestehen, welche in ein oder zwei verschiedene sich berührende Flüssigkeiten tauchen. Die Berührung der Flüssigkeiten kann infolge verschiedenen specifischen Gewichtes, oder durch eine poröse Scheidewand erfolgen.

Werden die Elektroden durch eine Außenleitung mit einander verbunden, so wird ein Strom erzeugt, der von der einen Elektrode zur anderen geht, wobei durch die Flüssigkeit ein chemischer Angriff geschieht. Die Enden der Leiter werden als Pole des Elementes, u. zw. als positiver (Anode) und negativer (Kathode) bezeichnet, und zwischen beiden findet eine Spannungsdifferenz statt. Da nun

der elektrische Strom durch das Element selbst hindurchfließt, so wirkt er auch auf dieses ein, und es werden sich am negativen Pole bestimmte Bestandtheile ausscheiden. Da nun in fast allen galvanischen Elementen in Wasser gelöste Säuren, Alkalien oder Salze verwendet werden, so handelt es sich bei dieser im Elemente bewirkten Zersetzung meist um eine solche des Wassers (H_2O), bei welcher Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) ausgeschieden werden. Letztere Zersetzungsproducte haben aber das Bestreben, sich neuerdings zu verbinden, und deshalb entsteht im Elemente durch die chemische Verwandtschaft der Zersetzungsproducte eine elektromotorische Kraft, welche der zersetzenden Kraft entgegenwirkt und als Gegenkraft oder „galvanische Polarisation" bezeichnet wird. Diese schwächt die wirksame elektromotorische Kraft und damit auch die Stromstärke des Nutzstromkreises. Da man den Wasserstoff (H) als Träger der Polarisation ansieht, so hat man getrachtet, durch geeignete Mittel die Ausscheidung von freiem Wasserstoff zu verhüten. Man nennt diese Mittel „depolarisierende Mittel".

Es gibt nun verschiedene Gattungen von Elementen, u. zw. mit einer oder mit zwei Flüssigkeiten, mit theilweise festen Salzen, dann Trocken- und Normalelemente.

Alle galvanischen Elemente sollen folgenden Anforderungen genügen: möglichst große und constante elektromotorische Kraft (constante Elemente), Dauerhaftigkeit, thunlichste Regenerierfähigkeit, geringen inneren Widerstand besitzen, keine Entwicklung von schädlichen Gasen und die Nichtanwendung giftiger Flüssigkeiten bedingen.

Diesen Ansprüchen gleichzeitig genügt nun kein bisher bekanntes Element und deshalb ist die Anwendung von Elementen in der elektrotechnischen Praxis wegen der Kostspieligkeit des Betriebes bei geringer Stromergiebigkeit, der geringen Dauerhaftigkeit und aufzuwendenden größeren Betriebssorgfalt eine begrenzte geblieben. Als oxydables und auflösbares Metall wird bei den galvanischen Elementen bis jetzt, fast ausschliesslich Zink benützt, welches sonach den negativen Pol darstellt. Da es nun selten rein ist und im unreinen Zustande sich mehr abnützt, so muss es an der Oberfläche mit Quecksilber überzogen (amalgamiert) werden.

Als positiven Pol wählt man Leiter, welche wenig von den Zersetzungsflüssigkeiten angegriffen werden, also z. B. Kohle, Platin, Kupfer, Eisen u. dgl. m. Als Zersetzungsflüssigkeit (oder Elektrolyt) werden meist Säuren verwendet.

Zur Depolarisierung nimmt man Wasserstoff bindende, feste oder flüssige Materien, also Körper, welche reich an Sauerstoff oder an Chlor sind, wie z. B. Braunstein, Bleisuperoxyd, Chromsäure, Salpetersäure u. dgl. m. Bei flüssigen depolarisierenden Substanzen trennt man das Zink durch eine poröse Thonzelle, Papier, Collodium etc. von der Flüssigkeit. Letztere Diaphragma erhöhen aber den inneren Widerstand der Elemente.

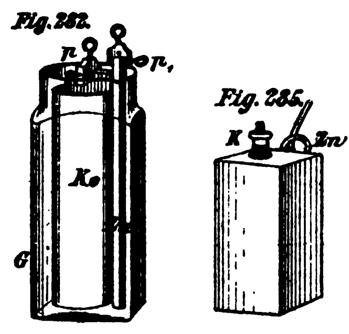
Für transportable Zwecke lässt man die Zersetzungsflüssigkeiten durch amorphe Kieselsäure, Gips, Sägespäne, Gelatine etc. aufsaugen und erhält dann sogenannte „Trockenelemente". Letztere haben eine weit geringere Lebensdauer als die Elemente mit Flüssigkeiten. Elemente, welche nur zeitweise activiert werden, construiert man oft als Tauchelemente, bei welchen das Zink also nur während des Gebrauches in die Flüssigkeit eintaucht.

Mehrere Elemente untereinander verbunden, bilden eine galvanische Batterie (Voltakette).

2. Beschreibung einzelner Elemente.

Das wichtigste und verbreitetste aller Elemente ist:

a) das Leclanché-Element (Fig. 282), welches nur eine Flüssigkeit (Salmiaklösung) enthält. In der dargestellten einfachsten Form besteht es aus einem Glasgefässe *G*, in welchem ein Zinkstab *Z* und eine Thonzelle *Ko* gestellt sind, in welch' letzterer sich eine Kohlenplatte und als Depolarisationsmittel ein Gemisch von Braunstein und Graphit oder Retortenkohle befindet. Oben ist die Thonzelle durch einen Pechaufguss (mit einer kleinen Öffnung für entweichende Gase) geschlossen. Bei diesem Elemente wird das Zink zu Zinkchlorid verwandelt, während infolge secundärer Processe sich noch Zinkoxychlorid, Chlorzink — Chlorammonium etc. bilden. Das Leclanché-Element wird in verschiedenen Modificationen gebaut, und sind für transportable Zwecke auch mehrfache Trockenelemente (Fig. 285) dieser Art hergestellt worden.



Es liefert nur kurz dauernde, schwache Ströme und wird in der Telegraphie, Telephonie und bei den Klingelwerken sehr häufig gebraucht. Bei Anwendung starker Entladung, wie solche z. B. für Glühlampenbetrieb nothwendig ist, tritt kräftige Polarisation ein, weshalb das Element sich bald erschöpft.

Die elektromotorische Kraft *E* ist anfänglich größer (1·38 Volt), sinkt aber im Betriebe auf durchschnittlich 0·9 Volt. Der innere Widerstand w_i schwankt je nach der Größe des Elementes zwischen 0·4 bis 0·6 Ohm. Trockenelemente haben $E = 1{\cdot}5$ bei $w_i = 0{\cdot}5\ \Omega$.

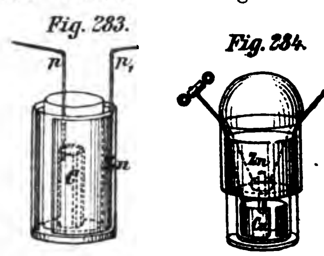
Die Lebensdauer beträgt bei guter Conservierung und Anwendung hohen Schließungswiderstandes (100 Ω) bis zu zwei Jahre. Die Bedienung ist einfach; verlangt öfteres Erneuern der Flüssigkeit, Reinhalten der Pole.

b) Das Bunsen-Element enthält ein amalgamiertes Zink in verdünnter Schwefelsäure und eine Kohle in concentrierter Salpetersäure, welche sich in einer porösen Thonzelle befindet. Es liefert eine elektromotorische Kraft von 1·9 Volt und besitzt einen inneren Widerstand von 0·2 Ohm. Es depolarisiert infolge des Sauerstoffes der Salpetersäure kräftig, leidet aber an dem Übelstande der Bildung von Untersalpeter- und salpetriger Säure. Es wird zum Betriebe kleiner Motoren, dann für elektrolytische Arbeiten verwendet.

c) Wird die Kohle durch Eisenelektroden ersetzt, so entsteht das Eisenelement.

d) Das Chromsäure-Element (Bunsen) wird als Tauchelement vielfach verwendet. Es besteht aus Kohle und Zink, welche in eine Chromsäurelösung tauchen. Die elektromotorische Kraft kann rund mit 2 Volt angenommen werden; der innere Widerstand ist nach der Plattengröße verschieden. Es liefert kurzdauernde Ströme beträchtlicher Größe und kann bei entsprechender continuierlicher Regenerierung (Circulationsbatterien) zu Beleuchtungszwecken verwendet werden.

Zu den Elementen, bei welchen behufs Polarisation Metalle an Stelle des Wasserstoffes ausgeschieden werden, gehören:


Fig. 283. Fig. 284.

e) das Daniell-Element (Fig. 283) bestehend aus Zink und Kupfer in Kupfersulfatlösung, welche Lösung gleichzeitig als Depolarisationsmittel wirkt. Die elektromotorische Kraft ist 1·15 Volt, der innere Widerstand über 1 Ohm;

f) das Meidinger-Element besteht aus einem Kupferblech *Cu* (Fig. 284) in einer Kupfersulfatlösung und einer mit Kupfervitriolstücken und Wasser gefüllten Flasche, welche verkehrt in die Sulfatlösung hineinragt; ferner aus dem Zinkcylinder *Zn*. Durch den Stöpsel der Flasche geht ein Glasrohr, welches nur eine solche Menge Sulfatlösung nachfließen lässt, als im Element verbraucht wird. Der Zinkcylinder taucht in eine Lösung von Magnesiumsulfat (Bittersalz) ein. Infolge ungleicher Dichte stehen die Flüssigkeiten übereinander. Die elektromotorische Kraft ist 1·18 Volt, der Widerstand über 3 Ohm, die bei Kurzschluss entwickelte Stromstärke sonach 0·39 Ampère. Sie sind sehr constante, aber nicht transportable Elemente und werden, wie die Daniell-Elemente, sehr häufig in der Telegraphie angewendet.

g) Zum Messen der elektromotorischen Kräfte bedient man sich für Laboratoriumszwecke Elemente, welche eine möglichst constante, elektromotorische Kraft besitzen, also sogenannter Normalelemente. Zu diesen gehört außer dem Daniell-Elemente, noch jenes von Clark, Weston u. a. m.

Das Clark'sche Element besteht aus einem, in eine Thonzelle eingeschlossenen Platinblech, mit einer Paste von Quecksilberoxydulsulfat umgeben, und aus amalgamiertem Zink in Zinksulfat. Es wird durch eine Paraffinschicht, Kork und durch einen Verguss abgeschlossen. Die elektromotorische Kraft ist 1·43 Volt.

3. Die elektrischen Eigenschaften der Elemente.

a) Die elektromotorische Kraft der Elemente, welche, wie der innere Widerstand, nur annäherungsweise angegeben werden kann, da während des Stromschlusses dieselbe niemals constant ist und sich auch mit der Temperatur ändert, ist unabhängig von der Größe der Elemente, und unabhängig von der inneren Beschaffenheit und Construction der Elemente, sowie von den benützten Stoffen. Sie schwankt im allgemeinen von 0·9 bis 2 Volt und sinkt bei ununterbrochener Benützung je nach der Art der Benützung (ob schwache oder starke Beanspruchung) innerhalb längerer oder kürzerer Zeit, bis auf eine Entladungsspannung von 0·5 Volt herab.

So z. B. leistet ein gutes Trockenelement bei 1·6 Volt Anfangsspannung im ersteren Falle 60, im letzteren Falle 35 Ampèrestunden, bis seine Spannung auf 1 Volt sinkt. Manche sinken schon bei 0·5 bis 5 Ampèrestunden Entladung auf 0·5 Volt.

b) Die Stromstärke eines galvanischen Elementes ist von der Oberfläche seiner Elektroden, dann von dem inneren Widerstande abhängig; ferner

von der Natur der Elektroden und von der Beschaffenheit und Menge der Chemikalien. Sie bestimmt gleichzeitig die Lebensdauer eines Elementes.

Gewöhnlich braucht man für Haustelegraphen 0·2 bis 0·3 Ampère; für Telegraphen- und Telephonanlagen mit größeren Entfernungen 0·15 bis 0·2 Ampère. Bei momentanem Kurzschluss soll die Stromstärke bei guten Elementen nicht unter 4 bis 5 Ampère, bei gebrauchten Elementen nicht unter 2·5 Ampère betragen.

c) Der innere Widerstand, welcher das Güteverhältnis eines Elementes bestimmt, richtet sich nach der Art der Füllung, bezw. nach der Feuchtigkeit und Oberfläche der Elektroden. Derselbe setzt sich aus dem wahren (Ohm'schen) und dem scheinbaren Widerstande (der Polarisation) zusammen. Letzterer ist der für die Praxis maßgebende, welcher je nach der chemischen Zusammensetzung eines Elementes, nach seiner Erzeugung etc. sehr variiert. Rechnungsmäßig ermittelt man ihn aus der Stromstärke und Spannung; doch kann man genaue Resultate nur bei offenem Stromkreis erhalten.

d) Die Entladecapacität eines galvanischen Elementes wird in „Ampèrestunden" gemessen. Sie schwankt naturgemäß nach der Beanspruchung. Praktisch bestimmt man sie durch eine Entladung auf jenen Widerstand, für welchen das Element verwendet werden soll.

e) Die Bestimmung der Leistung in Watt erfolgt durch Messung von Stromstärke und Polspannung. Das Maximum der Arbeit wird nach Seite 66 für ein $J_{max} = \frac{1}{4} \frac{E^2}{r}$ erlangt; doch tritt hier bald eine Erschöpfung des Elementes ein.

4. Schaltung, Anwendung und Prüfung der Elemente.

Die galvanischen Elemente werden gewöhnlich in größerer Anzahl verwendet. Hiebei können sie entweder hinter- oder nebeneinander, oder in beiden Schaltungsarten zugleich verbunden werden. (Siehe hierüber Seite 60.)

In Bezug auf ihre Verwendung ist im allgemeinen ein Unterschied zu machen, ob sie sich für das Arbeiten im offenen, nur periodisch geschlossenen Stromkreise (Arbeitsstrom) eignen, oder ob sie im geschlossenen Stromkreise (Ruhestrom) dauernd verwendet werden können. In dieser Hinsicht zeigen die Elemente ein verschiedenes Verhalten, und es werden z. B. in der Telegraphie für erstere Betriebsart Leclanché-Elemente, für letztere Kupferelemente verschiedenster Type verwendet.

Hinsichtlich der Prüfung der Elemente ist zu bemerken, dass für jedes Element dessen Betriebsart maßgebend ist und allgemein giltige Prüfungsregeln sich nicht aufstellen lassen.

In der Regel ist die Aufgabe, welche an ein Element gestellt wird, eine ganz bestimmte und ist der Widerstand im Stromkreise, in welchem das Element arbeiten soll, bekannt. In diesem Falle kann man das Element für die Überprüfung in einen Versuchsbetrieb einschalten und nimmt hiebei jenen Widerstand, der im Betriebe auf das Element entfällt. Man macht sodann in regelmäßigen Zwischenräumen Bestimmungen der Polspannung und Stromstärke. Aus den gewonnenen Resultaten verzeichnet man sich Diagramme, welche sodann

einen Anhaltspunkt geben, ob das Element für seine Zwecke geeignet ist, oder nicht. Die Curven für E und J werden abfallender, die Curven für w_i steigender Natur sein.

Will man die Elemente hinsichtlich der Zwecke, für welche sie sich überhaupt eignen können, untersuchen, so wird man sie bei Einschaltung variabler Widerstände prüfen.

Die Lebensdauer galvanischer Elemente ist verschieden (einige Monate bis Jahre) und hängt wesentlich von der Betriebsart und Wartung ab.

Die Betriebsstörungen ergeben sich abgesehen von der natürlichen Abnützung der Elektroden, aus mangelhafter Wartung, Bildung von Kurzschlüssen und damit durch die Erschöpfung der Elemente, Abfressen der Contacte, Verschlechterung der Elektrolyte, fehlerhaften Schaltung u. dgl. m.

II. Die Accumulatoren.

1. Allgemeines.

Die Thatsache, dass bei der Zersetzung eines Elektrolytes durch einen elektrischen Strom (Elektrolyse) die Elektroden in eine elektrische Spannungsdifferenz gerathen, vermöge welcher sie untereinander leitend verbunden, imstande sind einen elektrischen Strom zu erzeugen, hat zur Erfindung jener Apparate geführt, welche man als „Secundärelemente" oder „Accumulatoren" bezeichnet.

Fig. 286.

Leitet man z. B. durch einen Wasserzersetzungsapparat — Voltameter — G (Fig. 286), dessen Elektroden E aus Platin bestehen, einen elektrischen Strom, so bemerkt man, dass die Stromstärke anfänglich etwas abnimmt und erst nach einiger Zeit einen constanten Wert erreicht. Hiebei wird sich in der Röhre R Knallgas ansammeln. Verbindet man die beiden Klemmen nach Ausschaltung des Voltameters aus dem Stromkreise und bei Zuschaltung eines Galvanometers mit einander, so wird ein schwacher (Polarisations-) Strom in der Leitung auftreten, welcher nunmehr die entgegengesetzte Richtung des früheren Zersetzungsstromes hat. Hiedurch wird nachgewiesen, dass bei der Zersetzung des Wassers einerseits ein Theil des Stromes scheinbar verschwindet, also zur Leistung chemischer Arbeit verbraucht wird, anderseits, dass an den Elektroden die Seite 186 erwähnte, elektromotorische Gegenkraft auftritt, welche für sich allein einen Strom liefert, der jenem für die Zersetzung entgegengesetzt ist.

Durch Aneinanderschaltung mehrerer solcher Wasserzersetzungsapparate (Gasbatterie) gelang es Grove 1839, eine so große elektromotorische Kraft der Polarisation zu erzeugen, dass sie jener eines Bunsen-Elementes gleich kam.

Eine zufällige Beobachtung ließ Planté (1859) entdecken, dass Bleiplatten in ein mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser getaucht, eine bemerkenswerte gegenelektromotorische Kraft zu erzeugen imstande sind, welche infolge der großen Leitungsfähigkeit der Schwefelsäurelösung einen intensiven secundären Strom zu liefern vermochte. Diese Beobachtung Planté's bildete die Grundlage für das Wesen der gegenwärtig gebräuchlichen Blei-Accumulatoren, deren Princip im nachfolgenden beschrieben werden soll.

2. Princip und Construction der Blei-Accumulatoren.

Sind $+B$ und $-B_1$ (Fig. 287) zwei reine Bleiplatten, welche in ein Gefäß G mit verdünnter Schwefelsäure ($SO_4H_2 + n.H_2O$) gestellt werden, und leitet man durch die beiden Bleiplatten einen elektrischen (Zersetzungs-, oder Lade-) Strom, in der gezeichneten Richtung, so wird unter der chemischen Wirkung des elektrischen Stromes eine Zersetzung des Elektrolytes (der Schwefelsäurelösung) eintreten, welche nachfolgende chemische Reactionen bewirkt:

Fig. 287.

Die verdünnte Schwefelsäure [1]) wird derart zerlegt [2]), dass sich Sauerstoff (O), Wasserstoff (H) und Schwefelsäureanhydrid (SO_3) bilden. Der Sauerstoff scheidet sich an der positiven Bleiplatte B, der Wasserstoff an der negativen Platte ab, während das Anhydrid der Säure sich mit dem Wasser, welches in der Säure vorhanden ist, verbindet und dadurch die Lösung an Schwefelsäure anreichert, sie also specifisch dichter macht.

Der an $+B$ ausgeschiedene Sauerstoff oxydiert nun das Blei zu Bleihyperoxyd (PbO_2), wodurch sich die Oberfläche der Platte mit einer braunen porösen Schichte bedeckt. Der Wasserstoff condensiert sich zum Theile an der Platte B_1, zum Theile entweicht er aus dem Gefäße.

Verbindet man nach Ausschaltung der Zersetzungs-Stromquelle die beiden Bleiplatten B und B_1 durch das Galvanometer T (Fig. 288) mit einander, so wird ein kurzer Polarisationsstrom von der Platte $+B$ zur Platte $-B_1$ übergehen. Dieser Secundärstrom ist jedoch schon viel stärker und länger andauernd, als es jener der Wasserzersetzungsapparate (Voltameter) gewesen ist.

Fig. 288.

Bei diesem Übergange — der Entladung — scheidet der Secundärstrom an der mit PbO_2 bedeckten Platte B nunmehr H aus, welcher sofort das auf der Plattenoberfläche gebildete PbO_2 zu metallischem, schwammigem Blei (Pb) reduciert, während der an der Platte B_1 auftretende O den an B_1 condensierten Wasserstoff zu H_2O [3]) oxydiert. (Umgekehrte Elektrolyse.) Ist das PbO_2 zu Pb reduciert und aller H zu H_2O oxydiert, so kann kein Secundärstrom mehr auftreten.

Durch Wiederholung dieses Vorganges kann man die Menge des oxydierten und reducierten Bleis vergrößern, die Platten poröser und damit für die chemische Reaction zugänglicher machen, wodurch, wie die Erfahrung zeigt, die Ergiebigkeit des Secundärstromes wesentlich erhöht werden kann.

Planté hat gezeigt, dass durch öftere Wiederholung der beiden vorbesprochenen Operationen, u. zw. in der Weise, dass der primäre (Lade-) Strom abwechselnd in entgegengesetzter Richtung durch den Zersetzungsapparat gesendet wird, die Dauer des „Entladestromes" immer mehr verlängert werden kann, und dass die chemische Umwandlung der positiven Platte rascher als

---

[1]) $SO_4H_2 + H_2O = SO_3 + O_2 + H_4$.

[2]) Nebst den angeführten Reactionen treten aber noch weitere Oxydationen, wie die Bildung und Zerlegung von Bleisulfaten, dann secundäre Processe auf, welche der einfachen Darstellung wegen vernachlässigt werden. Eine vollständig richtige Darlegung der chemischen Processe beim Accumulator gibt es dermalen noch nicht.

[3]) Die Schwefelsäure wird mit H_2O angereichert, also weniger dicht.

jene der negativen erfolgt. Ist bei der wiederholten Ladung und Entladung — nach Planté die „Formation" genannt, — die Dauer der letzteren bei der einen Richtung des Ladestromes größer geworden, so wird nur mehr mit dieser günstigeren Stromrichtung geladen.

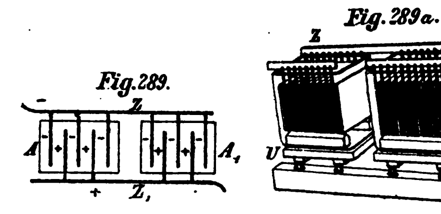
Planté war auf diese vorbeschriebene Weise imstande, bei allerdings beträchtlich langer Formierungszeit (mehrere Monate) ein Polarisationselement, bezw. bei Verbindung mehrerer solcher Apparate eine „Polarisationsbatterie" zu bilden, welche eine sehr große Stromergiebigkeit lieferte.

Die lange Formationsdauer und der hiedurch bedingte große Elektricitätsaufwand brachte 1881 Faure auf die Idee, durch directes Auftragen von Bleioxyden auf die Oberfläche der Bleiplatten die Bildung von $Pb\,O_2$ und schwammigem Pb oder die Formierung rascher zu bewirken [1]). Thatsächlich gelang es Faure, durch Auftragen von Mennige ($Pb_3\,O_4$) auf der positiven Platte und von Bleiglätte ($Pb\,O$) auf der negativen, in einigen Stunden, u. zw. bei gleichgerichtetem Formierungsstrome, ein Element zu schaffen, welches imstande war, beträchtliche Strommengen zu liefern. Er nannte dieses Element einen „Accumulator" oder Stromsammler, weil es gestattet, eine beträchtliche Elektricitätsmenge bei der Ladung (Zersetzung) in sich aufzuspeichern, um die Elektricität bei der Entladung sodann an einen zugeschalteten Stromkreis abzugeben.

Nach diesem Principe sind nun eine Reihe von Stromsammlern entstanden, welche in die Praxis mehr oder weniger Eingang gefunden haben.

Aus dem Vorgesagten erhellt aber schon, dass ein Accumulator ein Apparat ist, in welchem die elektrische Energie eines Generators unter der Form potentieller, chemischer Energie aufgespeichert werden kann. Durch Anwendung eines anderen Elektrodenmateriales (von Kupfer und Zink etc.) und anderer Flüssigkeiten ist es ferner gelungen, auch andere Typen von Accumulatoren zu schaffen.

Die Blei-Accumulatoren bestehen also nach vorstehendem aus verschieden geformten (massiven, gitter-, oder rahmenförmigen) Bleiplatten, u. zw. den positiven und negativen Elektroden, welche, abwechselnd aneinander gereiht, in einem Gefäße, das mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird, eingebaut werden (Fig. 289). Man nennt einen solchen Apparat eine „Zelle" (auch secundäres Element), und eine Reihe mit einander geschalteter Zellen eine „Accumulatorbatterie". Die metallischen Elektroden dienen zur Leitung, die auf den Platten aufgetragenen Bleioxyde, — d. i. die active (oder Füll-) Masse, — jedoch zur Stromansammlung. Sind die Zellen formiert, so erscheinen die positiven Platten rothbraun, die negativen jedoch grauweiß. Um den inneren Widerstand zu verringern, gibt man den Zellenplatten eine möglichst große Oberfläche,



[1]) Während bei dem Planté'schen Process ein Molecül Pb zwei Molecüle O zur Oxydation auf $Pb\,O_2$ braucht, werden beim Faure'schen Process ($Pb_3\,O_4 + O_2 = 3\,Pb\,O_2$) nur zwei Molecüle O gebraucht, um drei Molecüle $Pb\,O_2$ zu liefern; es kann sonach hier die Bildung von $Pb\,O_2$ schneller erfolgen.



oder schaltet bei begrenzten Dimensionen die Platten nebeneinander, so dass die gleichnamigen Platten stets durch je eine Leiste ZZ_1 (Fig. 289) verbunden erscheinen. Als Elektrolyt (Zersetzungskörper) nimmt man gewöhnlich verdünnte Schwefelsäure.

Je nach der Construction solcher Accumulatoren, dann nach ihrem Zwecke kann man verschiedene Formen, nach ihrer Leistungsfähigkeit verschiedene Typen unterscheiden. Die Hauptbestandtheile der Accumulatoren sollen im nachfolgenden kurz erörtert werden.

a) Die Elektroden (Bleiplatten) werden aus reinem Blei durch Gießen in entsprechenden, meist rechteckigen Formen erzeugt. Um sie zur Aufnahme der Füllmasse (activen Masse) geeignet zu machen, sind die Platten mit verschiedenen Vertiefungen versehen (Fig. 291), welche die Form von dreieckigen, viereckigen Öffnungen, von Stanzen, Rinnen etc. besitzen. Die Öffnungen in den Platten geben denselben ein gitterförmiges Aussehen. Manche patentierte Accumulatoren zeigen doppelte Gitterformen (Gitter-Doppelplatten). Die Bleiplatten *g* (Fig. 290) haben an einer Ecke Ansätze (Pollappen) *l*, mit welchen sie an den Polleisten (Verbindungsschienen) mehrerer Platten ZZ_1 (Fig. 289) verbunden werden. Oft sind sie am unteren Rande so ausgeschweift, dass die Ansätze dann Füsse für das Aufstellen der Platten bilden. Die Bleiplatten werden senkrecht in ein Glas-, Steingut-, Hartgummi- oder Bleigefäß gestellt, oder in demselben entsprechend aufgehängt.

Fig. 290.

Fig. 291.

In der Regel sind bei einer Accumulatorzelle mehr negative als positive Platten vorhanden, u. zw. sind, um das Werfen der positiven Endplatten zu vermeiden, an den Enden einer Reihe je eine negative Elektrode eingebaut. Die Platten werden von einander durch Kautschuk-, Hartgummi-Einlagen, durch Glasstäbe, Celluloid etc. getrennt, bezw. von einander isoliert.

Das directe Aufstellen von Platten auf den Boden der Gefäße erscheint unzulässig, weil durch die beim Betriebe abbröckelnde, active Masse ein Schluss zwischen zwei nebeneinanderstehenden, entgegengesetzt polarisierten Platten entstehen kann. Aus letzterem Grunde stellt man die Bleiplatten auf die scharfen Kanten prismatischer Isolatoren, oder hängt sie vortheilhafter auf.

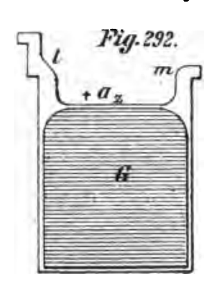
Für fixe stabile Installationen (also in Beleuchtungsanlagen) werden die Platten in der Bleimasse stärker gemacht, als für mobile Installationen (Trambahnen, Eisenbahnen etc.).

b) Die Gefäße für die Accumulatorzellen sind, wie vorangeführt, ebenfalls verschieden, u. zw. je nachdem man es mit stabilen Accumulatoren oder mit mobilen (trag- oder fahrbaren Typen) zu thun hat. Ferner sind sie je nach der Größe der Platten verschieden.

c) Das Elektrolyt, die verdünnte Schwefelsäure, soll möglichst rein sein und eine Dichte von 1·12 (16°/₀) bei 17° C. haben. Die Dichte wechselt mit dem Zustande des Accumulators, ob dieser nämlich geladen oder entladen wird.

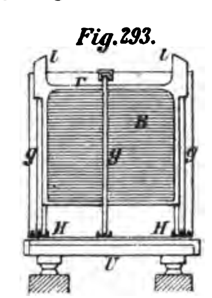
Bei der Erzeugung von Accumulatoren für mobile Anlagen hat man auch versucht, statt des „flüssigen“ Elektrolytes, ein „festes“ zu schaffen. So hat z. B. Dr. Schoop bei den Accumulatoren der Firma Oerlikon, eine

gelatinöse Masse aus Schwefelsäure und Natronsilicat hergestellt, welche aber bewirkt, dass der Accumulator 20% weniger Capacität besitzt, als wenn Schwefelsäure als Elektrolyt angewendet wird. Daher wird die Gelatine möglichst vermieden.

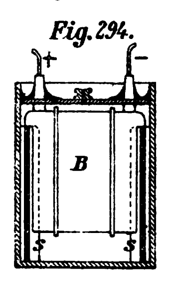


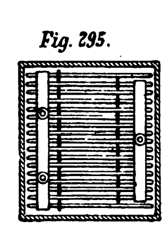
Als Beispiel einer praktischen Construction ist in nebenstehender Fig. 292 die stabile Accumulatortype (*az*) von Tudor (vormals Müller & Einbeck) dargestellt. Die Elektroden *G* haben die in der Fig. 292 abgebildete Gestalt und sind an einer Seite mit einem Ansatz *l*, an der anderen mit einer Nase *m* versehen. Erstere dient für die Verbindung der zugehörigen Platten untereinander; die Nase dient zum Aufhängen der Elektrodensätze. Als Füllmasse wird bei den positiven Platten Mennige, bei den negativen Bleiglätte verwendet. Diese Materialien werden mit Schwefelsäure zu einem Brei angemacht und mit einem Holzspatel in die Plattenrillen eingetragen. Die getrockneten Platten werden sodann in verdünnte Schwefelsäure eingehängt und durch eine gewisse Anzahl von Stunden formieren gelassen.

Tudor hat bei seiner Accumulatorentype, die bei den Sammlern von Planté und Faure angewendeten, verschiedenen Verfahren vereint. Es werden bei Tudor die (+) Elektroden zu Formierungszellen zusammengestellt, zuerst ohne Füllmasse durch eine längere Zeit geladen, hierauf erst die Füllmasse aufgetragen und sodann die Platten nach dem Trocknen neu formiert.



Die Gefäße der stabilen Typen (Fig. 293) bestehen aus Glas oder aus mit Blei ausgekleidetem Holze. Die Platten *B* werden auf zwei Glasscheiben *g* aufgehängt, welche in den Nuthen von am Boden liegenden zwei Holzleisten *H* gelagert sind. Der Abstand der Plattenunterkante vom Gefäßboden beträgt etwa 6 bis 8*cm*. Die gegenseitige Isolierung der Elektrodenplatten erfolgt durch mittlere Glasrohre *g*, welche durch Bleirinnen *r* eine eigene Führung erhalten. Sämmtliche Elektroden werden durch Endleisten aus Holz zusammengehalten. Um eine Ausdehnung der Platten zu gestatten, sind zwischen den Endleisten und der Glaswand Gummischläuche eingezogen. Bleileisten *l* verbinden die zusammengehörigen Ansätze der Bleiplatten, und werden diese Leisten bei der Schaltung mehrerer Zellen zu einer Batterie mit einander unter Zuhilfenahme von Bleilöthung (reines Blei und Wasserstoffgebläse) entsprechend verlöthet.





Die Accumulatoren werden auf Holzuntersätze *U* gestellt, welche — durch Porzellan- oder Glasrollen isoliert, — auf meist hölzernen Gestellen stehen.

Die mobilen Typen unterscheiden sich von den stabilen Typen einerseits in der Form und in den Dimensionen der Platten, anderseits in den Gefäßen.

Die Figuren 294 und 295 stellen z. B. eine Type für mobile Zwecke dar. Hartgummigefäße bilden hiebei die Behälter. Die Platten werden auf

gerippte Hartgummi-Stützscheiben *s* aufgehängt. Zur Isolation benachbarter Elektroden von einander dienen bei transportablen Accumulatoren statt der Glasrohre Hartgummigabeln. Alle Tudor-Accumulatoren sind derart construiert, dass nach einigen Jahren die Füllmasse herausfallen kann, und sodann der Planté-Process in Action tritt. Die Firma erzeugt mehrfache Typen stabiler und mobiler Accumulatoren, welche *a*) in Glasgefäßen, *b*) in mit Blei ausgeschlagenen Holzkästen montiert, *c*) für transportable Zwecke hergestellt werden.

Die erstere Gattung liefert je nach der Größe des Accumulators eine garantierte Capacität von 28 bis 396 Ampèrestunden mit einer zulässig höchsten Stromstärke, u. zw. bei der Ladung, von 7, bezw. 69 Ampère, bei der Entladung, von 8·5, bezw. 47 Ampère.

Die zweite Gattung liefert eine Capacität von 322 bis 2.310 A. H. bei einer Ladestromstärke von 80, bezw. 402 Ampère, und bei einer Entladestromstärke von 96, bezw. 276 Ampère.

Die transportablen Accumulatoren werden für eine Capacität von 24 bis 208 A. H. gebaut, u. zw. bei einer Ladestromstärke von 7 bis 28 Ampère und bei einer Entladestromstärke von 9 bis 36 Ampère.

Die Tudor-Accumulatoren zeichnen sich bei vorausgesetzt rationellem Betriebe durch solide Construction und lange Lebensdauer aus.

3. Eigenschaften der Blei-Accumulatoren.

Da die Accumulatoren für sich elektrische Generatoren darstellen, so kommt bei deren Beurtheilung wieder deren Leistungsfähigkeit, dann die diese bedingenden elektrischen Stromgrößen (E, J und W) in Betracht. Nachdem sich jedoch bei dem Betriebe der Accumulatoren zwei verschiedene Processe, die Ladung und die Entladung abspielen, so sind die vorgenannten Stromgrößen auch in Bezug auf diese zwei Processe zu unterscheiden.

a) Die elektromotorische Kraft eines Blei-Accumulators im geladenen Zustande, in welchem der Accumulator also Nutzarbeit leistet, beträgt rund 2 Volt. Theoretisch kann man aus der Wärme-Entwicklung bei den Entladungsreactionen und bei Voraussetzung der Hypothese der Sulfatierung beider Elektroden die elektromotorische Kraft berechnen, welche nach Tscheltzow 1·95 Volt beträgt. Der Verbrauch an Schwefelsäure, als Träger der chemischen Veränderungen, beträgt nach Schenek im Mittel 2·24g pro Ampèrestunde.

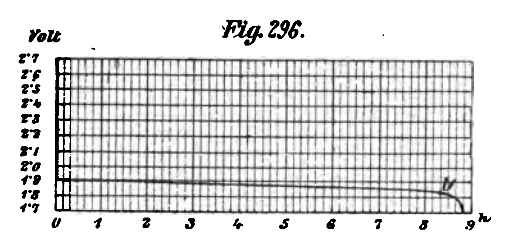


Fig. 296.

Die vorbezeichnete Klemmenspannung von 2 Volt wird nun mit der Entladung sinken, u. zw. zu Anfang langsam, beschleunigt sich aber später, und gegen das Ende der Entladung tritt ein rapider Abfall derselben infolge der Bildung von $Pb\,O_2$ auf der negativen Platte ein. Beispielsweise zeigt die Fig. 296 eine graphische Darstellung des Verlaufes der Klemmenspannung bei einer $8^1/_2$-stündigen Entladung einer Tudor-Batterie. Man geht bei der Entladung nicht unter eine bestimmte praktisch ermittelte Grenze (meist 10% Spannungsabfall), weil von da ab die Spannung in eine für den Betrieb

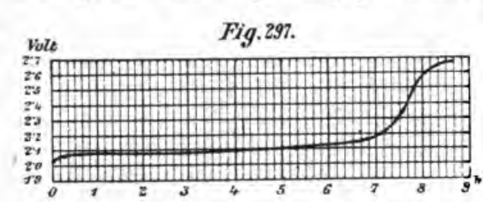
(z. B. beim Glühlicht) nachtheiligen, rapiden Abfall übergeht, anderseits die bis zu diesem Zeitpunkte entnommene Elektricitätsmenge ohnedies, wie die Fig. 296 andeutet, percentuell den Hauptantheil vorstellt, der aus dem Sammler entnommen werden kann, und endlich eine zu weit gehende Entladung die positive Platte mit einer Sulfatschichte sich überziehen lässt, welche ein schädliches Abschuppen der activen Masse bewirkt.

Überlässt man einen bis auf das zulässige Maß der Klemmenspannung entladenen Accumulator sich selbst, so kann man bemerken, dass die elektromotorische Kraft nach einiger Zeit wieder ansteigt, was infolge einer localen chemischen Reaction geschieht.

Hat man einen Accumulator entladen und soll derselbe **geladen** werden, so muss die beim Laden auftretende, vom Ladestrom zu bestreitende Klemmenspannung e größer sein als die elektromotorische Kraft E des Accumulators. ($e = E + J W$, wenn J den Ladestrom und W den inneren Widerstand des Accumulators bezeichnet). Sie muss naturgemäß umso größer sein, je höher die Klemmenspannung des Accumulators wird, je mehr Elektricität also demselben aufgezwungen wird.

Nach der Ladungscurve (Fig. 297) sieht man, dass im Endzustande der Ladung die Klemmenspannung pro Zelle auf 2·7 Volt wächst. Diese Variation der Klemmenspannung einer Accumulatorzelle beim Laden und Entladen hat seinen Einfluss hinsichtlich der Bestimmung der Zahl der für einen bestimmten Zweck zu ermittelnden Accumulatorzellen, als auch der zum Laden zu verwendenden Dynamomaschine.

Fig. 297.



Beispiel. Ist ein 40 Ampère Bogenlicht mit 48 Volt Lampenspannung und mit 6 Volt Spannungsverlust in der Zuleitung, durch eine Batterie hintereinandergeschalteter Accumulatoren mit Strom zu versorgen, u. zw. auf eine gewisse Dauer, so sind für den Beginn des Betriebes $\frac{48 + 6}{2} = 27$ Zellen, zu Ende des Betriebes (d. i. bei 10% Spannungsabfall) aber $\frac{48 + 6}{1 \cdot 8} = 30$ Zellen nothwendig. Es müssen also während des Betriebes zu den 27 Betriebszellen, drei Zellen nach und nach zugeschaltet werden. Die zum Laden dieser 30 Zellen zu verwendende Dynamomaschine muss dann eine Klemmenspannung von mindestens $(30 \times 2 \cdot 7) + 6 = 77$ Volt zu liefern imstande sein.

b) Der **innere Widerstand** eines Accumulators variiert mit der Zusammensetzung der Elektroden. Er ist im allgemeinen sehr klein (pro dm^2 positive Platte etwa 0·0015, im ganzen sonach etwa 0·01 bis 0·001 Ohm), so dass man praktisch die Klemmenspannung gleich der elektromotorischen Kraft (2 Volt) nehmen kann.

c) Die **Stromstärke**, welche einerseits zum **Laden** von Accumulatoren gebraucht wird und welche anderseits als **Entladestrom** sich ergibt, hängt von der Form und den Dimensionen des Accumulators ab.

Es ist leicht einzusehen, dass aus ökonomischen Gründen getrachtet werden muss, die Ladezeit möglichst zu verkürzen. Aber je größer die Intensität des Ladestromes ist, umso weniger tief können die chemischen Reactionen in den Bleiplatten vor sich gehen und es wird ein Theil der Arbeit des Ladestromes nutzlos verloren gehen. Zudem erwärmen sich hiebei die Accumulatoren in schädlicher Weise. Im Anfange der Ladung werden weiters die chemischen Reactionen viel leichter hervorgerufen werden als gegen das Ende der Ladung, weil die ganze active Masse im Anfange zur Absorption der Gase bereit ist, während zu Ende der Ladung der Gas- und Säurezutritt zu den tieferen Partien erschwert ist. Aus dieser Ursache ist es rationell, die Intensität des Ladestromes während der Ladung abnehmen zu lassen.

Die Entladestromstärke wird durch den äußeren Widerstand bedingt, und es können bei geringerem äußeren Widerstande große Stromquantitäten durch den Accumulator geliefert werden. Eine zu große Stromentnahme (rasche Entladung) wirkt aber ungünstig auf den Bestand der Platten ein (Abfallen der activen Masse, Werfen der Platten), weshalb auch beim Entladen die Entladestromstärke praktisch begrenzt erscheint. Nach der Erfahrung hat sich ergeben, dass man ohne Beeinträchtigung der Accumulatoren, pro *kg* Elektrodengewicht, u. zw. bei stabilen Zellen 2, bei mobilen Zellen $1\frac{1}{2}$ Ampère Entladestromstärke rechnen kann.

Für kürzere Entladungen kann man die Entladestromstärke auch doppelt so groß als die normale nehmen. Meist bezeichnen die Firmen bei ihren Typen stets die Maximal-Entlade-, und die Ladestromstärke. Die Ladestromstärke variiert zwischen 0·5 bis 1 Ampère pro Kilogramm Elektrodengewicht. Sie ist im allgemeinen $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{4}$ so groß, wie die Stromstärke des Entladestromes.

d) Die Fähigkeit des Accumulators, eine bestimmte Elektricitätsmenge bei seiner Entladung innerhalb einer gewissen Zeit zu liefern, bezeichnet man als „Capacität“ (Entladecapacität) desselben. Sie wird in Ampèrestunden (A. H.) ausgedrückt. Vermag z. B. ein Accumulator durch 30 Stunden einen Entladestrom von 10 Ampère zu liefern, so ist seine Capacität $10 \times 30 = 300$ Ampèrestunden. Ist jedoch seine Entladestromstärke bei dieser Capacität, z. B. 50 Ampère, so vermag er diesen Strom durch sechs Stunden zu liefern.

Das Aufspeicherungsvermögen des Accumulators oder dessen Capacität ist nicht nur abhängig von dessen Construction, sondern auch von der Entladedauer, indem nämlich die Diffusionsfähigkeit der verdünnten Schwefelsäure eine große Rolle spielt. Je geringer der Entladestrom ist, um so größer wird die Entladedauer sein, und dementsprechend bewirkt die Diffusion der Säure, dass aus dem Accumulator auch größere Entladungen herausgenommen werden können.

Weil das Diffusionsvermögen der verdünnten Schwefelsäure von der Temperatur abhängig ist, besteht auch eine Beziehung zwischen der Capacität des Accumulators und dessen Temperatur. Eine Erhöhung der Temperatur steigert die Diffusionsfähigkeit der Schwefelsäure und damit auch die Capacität des Accumulators.

Kälte erzeugt hingegen ein Herabdrücken der Capacität, was im gleichen Sinne, wenn auch nicht so bedeutend, von dem Einflusse mechanischer Stöße bei dauerndem Transporte von Zellen (also für fahrbare Anlagen) zu sagen ist.

Praktisch rechnet man für stabile Accumulatoren eine Capacität von ungefähr 6 Ampèrestunden pro *kg* Plattengewicht, für mobile 11—13 A. H. Ist die Entladung eine rapide, so vermindert sich die Capacität um $^1/_3$ und noch mehr.

e) Der Wirkungsgrad der Accumulatoren, d. i. das Verhältnis der dem Accumulator entnommenen zu der demselben zugeführten, elektrischen Energie (also der Lade- und der Entladecapacität), ist ebenfalls je nach der Construction der Accumulatoren ein verschiedener. Man bestimmt ihn praktisch entweder nach der Anzahl der aufgenommenen und abgegebenen Ampèrestunden (Quantitätsmessung), oder nach der aufgenommenen, bezw. abgegebenen Arbeitsmenge, ausgedrückt in Wattstunden (W. H. Arbeitsmessung). Dieser Wirkungsgrad hat sich bei den neueren Accumulatoren wesentlich günstig gestellt, und beträgt erfahrungsgemäß bei Annahme von Ampèrestunden: 85 bis 95%, bei Annahme von Wattstunden 75 bis 85%.

Der Wirkungsgrad ändert sich jedoch bei starken Ent- oder Überladungen, oder bei längerem Sichselbstüberlassensein der Accumulatoren.

Beispiel. 1. Eine Accumulatorbatterie, welche 300 Ampèrestunden liefern soll, braucht 325 Ampèrestunden Ladecapacität; wie groß ist das Güteverhältnis? Offenbar: $\frac{300}{325} = 0{\cdot}85$, d. h. 85%.

2. Wie groß ist die elektrische Arbeit einer Batterie, wenn während 5 Stunden 20 Ampère bei einem Spannungsabfall von 1·9 Volt auf 1·8 Volt geliefert worden sind. Die mittlere Entladespannung beträgt $\frac{1{\cdot}9 + 1{\cdot}8}{2} = 1{\cdot}85$ Volt, sonach $P = 20 . 5 . 1{\cdot}85 = 185$ Wattstunden. Beträgt die Lade-Energie 198 Wattstunden, so ist der Wirkungsgrad $\frac{185}{198} = 0{\cdot}7$ oder 70%.

f) Die Lebensdauer der Accumulatoren hängt nicht allein von der Construction, sondern wesentlich auch von dem Betriebe, bezw. von der Überwachung desselben ab. Die Beobachtung des Ampère- und Voltmeters, sowie eventueller Dichtemesser muss beim Betriebe mit besonderer Sorgfalt ausgeführt werden. Bestimmte, endgiltige Angaben über die Lebensdauer lassen sich gegenwärtig noch nicht machen; doch zeigt die Erfahrung, dass die Accumulatoren bei regelmäßigem Betriebe eine längere Zeit im guten Zustande und gleichmäßig leistungsfähig erhalten werden können [1]).

Nach der Erfahrung nützen sich die positiven Platten rascher als die negativen ab, müssen daher früher erneuert werden. Dies gilt umsomehr, je stärker die Beanspruchung ist, wie dies z. B. bei mobilen Typen statthat.

4. Ladung und Entladung der Blei-Accumulatoren.

Da die richtige Betriebsweise wesentlich auf den Bestand der Accumulatoren einwirkt, so werden seitens der mit der Erzeugung von Accumulatoren sich beschäftigenden Firmen meist fixe Betriebsregeln für ihr Material gegeben.

[1]) Die Firmen, welche Accumulatoren erzeugen, garantieren eine längere (zehnjährige) Verwendungszeit.



Im allgemeinen lässt sich hiebei jedoch Folgendes anführen:

a) Bei der Ladung muss der + Pol der Accumulatorbatterie stets mit dem + Pol der ladenden Dynamomaschine verbunden werden. Die Klemmenspannung der Maschine muss höher als jene der Accumulatoren, mehr dem Spannungsverluste in der Leitung sein; sie wird mit der Ladezeit wachsen und am Ende der Ladung am größten sein (2·7 Volt); es muss daher die Dynamomaschine entsprechend nachreguliert werden. Die Stromstärke, welche bei jeder Type bekannt gegeben wird, soll bis nahezu zum Ende der Ladung constant andauern. Zu Ende der Ladung wendet man — wie bereits erwähnt, — mit Vortheil häufig auch eine etwas geringere Stromstärke an. Mit der fortschreitenden Ladung steigen stets mehr Gasblasen aus der Flüssigkeit auf, und das Ende der Ladung markiert sich durch ein sehr heftiges Entweichen der Gasblasen (Kochen der Zellen, milchiger Zustand der Flüssigkeit). Letzteres Erkennungszeichen im Vereine mit dem Ansteigen der Dichte der Schwefelsäure (bis 1·18 bei der Temperatur von 17° C.) markieren die Beendigung der Ladung.

Lässt man jedoch die Ladung über diesen Punkt hinausgehen, so überladet man die Zellen, was beim continuierlichen Betriebe nicht günstig wirkt.

Die erste Ladung von neuformierten Platten beträgt behufs Erreichung eines möglichst vollständigen Ladeprocesses, etwa die 5- bis 6fache Capacität des Accumulators. Werden Accumulatoren im geladenen Zustande einige Zeit sich selbst überlassen, so verlieren sie an Capacität [1]); sie müssen innerhalb einer bestimmten Zeit (z. B. alle 14 Tage) nachgeladen werden.

b) Bei der Entladung sinkt die Spannung; sie darf jedoch von 2 Volt auf höchstens 1·8 Volt pro Zelle herabgehen. Der (+) Pol der Zelle bildet beim Laden auch den (+) Pol beim Entladen. Die Dauer der Entladung richtet sich nach der Capacität, sie muss aber unterbrochen werden, sobald die Klemmenspannung den Wert 1·8 Volt erreicht hat. Die Maximal-Entladestromstärke wird durch die Erzeugungsfirma fixiert; sie wird durch den Einbau von Rheostaten in den Accumulatorenstromkreis reguliert. Die Dichte der Schwefelsäure nimmt mit fortschreitender Entladung ab (bis 1·14).

Zu weitgehende Entladung ermöglicht eine theilweise Sulfatbildung der Plattenoberflächen, was schädlich ist, während eine zu starke oder plötzliche Stromentnahme — wie bereits erwähnt, — ein Loslösen der Füllmasse bewirken kann.

5. Schaltungsweise.

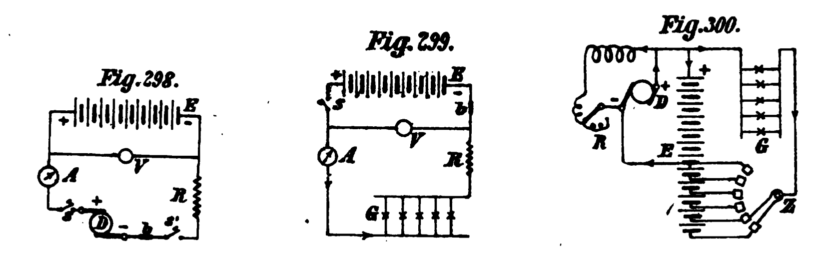
Beim Laden werden die Accumulatoren *E* (Fig. 298) meist hintereinander, selten parallel geschaltet. Hiezu verbindet man den positiven Pol der Maschine *D* mit dem (+) Pol der ersten Zelle *E*, den negativen Pol der Dynamo mit dem (—) Pol der letzten Zelle. Die Richtigkeit der Schaltung ist gut zu beachten, eventuell zu überprüfen [2]).

---

[1]) Der Capacitätsverlust beträgt z. B. bei vierwöchentlichem Stehenlassen der Batterie etwa 10%.

[2]) Unter Zuhilfenahme sogenannter Polsucher, wie z. B. eines Polreagenspapiers, oder eines Polsuchers von Berghausen. Letzterer enthält in einem Rohre eine Flüssigkeit, welche beim Stromdurchgang einen rothen Niederschlag am negativen Pol bilden lässt. In den Figuren 298 bis 300 bedeutet: *A* ein Ampère-, *V* ein Voltmeter, *R* einen Regulierwiderstand, $s s^1$ Ausschalter, *b* Bleisicherungen, *G* Glühlampen, *Z* Zellenschalter.

Beim Entladen können die Accumulatoren E ebenfalls hinter-, oder nebeneinander geschaltet sein (Fig. 299). Manchmal werden jedoch die Dynamomaschinen und die Accumulatorenbatterie nebeneinander auf den Nutzstromkreis geschaltet (Parallelbetrieb Fig. 300). Hiedurch kann eine Betriebs-



maschine möglichst voll ausgenützt werden, weil in Beleuchtungsanlagen mit wechselnder Beanspruchung oder wechselndem Stromerfordernis der Überschuss an Strom in die Sammler geschickt, bei großer äußerer Beanspruchung aber die Maschine und die Accumulatoren gemeinsam auf den Lampenstromkreis arbeiten können.

6. Betrieb der Blei-Accumulatoren. Hilfsapparate.

Zum Betriebe von Accumulatoren verwendet man in der Regel Nebenschlussmaschinen, welche beim Laden zuerst in Bewegung gesetzt und auf eine Maschinen-Klemmenspannung gebracht werden, welche etwa 17% höher ist, als die vor dem Betrieb zu messende Spannung der einzuschaltenden Accumulatoren. Dann erst darf das Anschließen der Accumulatoren an den Maschinenstromkreis erfolgen. Durch diesen Vorgang wird das Rückströmen des Accumulatorstromes in die Dynamomaschine vermieden, welches bei Anwendung von Serienmaschinen ein nachtheiliges Umpolarisieren zur Folge hätte. Die Herstellung richtiger Ladestromstärke erfolgt durch Handhabung der Rheostate; hiebei wird mit der Spannungszunahme der Batterie der Druck stets nachreguliert.

Bei Beendigung des Ladens werden zuerst die Accumulatoren ausgeschaltet, dann erst die Klemmenspannung an der Maschine vermindert und schließlich die Maschine abgestellt. Im allgemeinen dürfen nur Zellen, welche gleichmäßig entladen worden sind, mit einander gleich lang geladen werden; die weniger erschöpften Zellen werden bei eintretender Sättigung (Kochen der Zellen) ausgeschaltet.

Da sich beim Laden Knallgas bildet, so darf ein Accumulatorraum mit offenem Lichte nicht betreten werden.

Das Entladen einer Accumulatorbatterie erfolgt nach Ausschaltung der Dynamomaschine durch Anschluss der Beleuchtungsanlage etc. an die Batterie. Die Entladestromstärke wird sodann durch einen Rheostaten reguliert. Zeigt beim Entladen eine Zelle eine geringere Spannung als die übrigen, so wird sie ausgeschaltet, um sie unter Umständen beim Laden wieder einzuschalten.

Im allgemeinen sind für den Accumulatorenbetrieb nachfolgende Hilfsapparate nothwendig, u. zw. benöthigt man außer den Messapparaten für

die Stromstärke und Spannung, noch Rheostate zur Widerstandsregulierung, dann Ausschalter, Bleisicherungen und Kurzschließer. Beim Parallelbetrieb dienen zur Regulierung des Lade- und Entladestromes sogenannte „Zellenschalter“. Dieselben haben den Zweck, die für das Brennen von Lampen erforderliche Spannung durch Zuschalten von Accumulatorzellen (beim Entladen) oder Abschalten (beim Laden) möglichst constant zu halten. Sie sind einfache Zellenschalter, wenn sie nur eine Operation gestatten, Doppelzellenschalter, wenn sie sowohl das Zuschalten, als auch das Abschalten geladener Zellen gestatten.

Fig. 301.

Dieselben sind so eingerichtet, wie dies Fig. 301 zeigt. Ein Schleifhebel *H* schleift über die Contacte *abcde*, zwischen welchen je ein kleiner Widerstand *r* liegt, der verhindern soll, dass eine Zelle beim Übergang des Hebels *H* von einem Contact auf den zweiten kurz geschlossen wird. Die Elemente *E* sind, wie in Fig. 301 gezeichnet, an den Zellenschalter geschaltet.

Hinsichtlich der Unterhaltung (Conservierung) der Accumulatoren ist zu bemerken, dass auf eine ständige Reinhaltung der Zellen und sicheren Contact an den Verbindungsstellen zu sehen ist. Zeitweilig ist die Zelle mit reinem Wasser oder verdünnter Säure nachzufüllen. Alle Zellen sollen gleiche Spannung besitzen.

Die Zellen sollen nur dann auseinander genommen werden, wenn Defecte in den Accumulatoren auftreten.

7. Störungen beim Betriebe von Blei-Accumulatoren. Untersuchung.

Die Störungen betreffen:

1. Das Herausfallen der activen Masse, speciell der + Platten, welches Kurzschlüsse zwischen den Platten erzeugen kann. Dies kommt bei zu starker Sulfatbildung, dann bei zu raschen Entladungen vor.

2. Das Werfen der Platten (Verkrümmungen) bei zu starkem Lade- oder Entladestrom, sowie bei zu lang andauernder Entladung; hiedurch kommen die Platten einander zu nahe und erzeugen Kurzschlüsse. Es hat diese Deformation der Platten seine Ursache in der verschiedenen Beanspruchung der Platten selbst, welche keine gleichartige Materialzusammensetzung besitzen. Die Bleigitter und die Füllmassen erwärmen sich ungleich, haben auch verschiedenes Ausdehnungsvermögen.

3. Brüche der Bleigitter oder der Plattenansätze. Die Bleigitter werden nach und nach oxydiert und dadurch weniger widerstandsfähig, so dass sie später unter ihrem Gewichte brechen Die Ansätze können durch mechanische Beanspruchung (Stoß) oder infolge zersetzender Einwirkung der Schwefelsäure brechen. Gegen letztere Einwirkung versucht man die Ansätze durch Anstriche von Paraffin, von Schwefel etc. zu schützen.

4. Kurzschlüsse, hervorgerufen durch das Auslösen von Füllmassen oder durch das Werfen der Platten. Hiedurch sinkt die Spannung des Accumulators unter Umständen bis auf Null. Der Accumulator ladet sich nicht und trägt auch nichts zur Entladung bei. Die fehlerhafte Zelle muss ausgeschaltet werden.

5. Umkehrung der Pole bei zu langer Entladung. In diesem Falle ladet man die Zellen andauernd mit schwacher Stromstärke.

6. Sulfatierungen der Platten, d. h. Bildung von schwefelsaurem Blei, hervorgerufen bei zu weit erfolgter Entladung oder bei Kurzschlussbildung, Isolationsfehlern und bei langer Unthätigkeit des Accumulators. Um sulfatierte Platten zu desulfatieren, muss man die Accumulatoren mit einem sehr schwachen Strome längere Zeit laden.

Behufs Untersuchung von Blei-Accumulatoren misst man deren Spannung mit einem empfindlichen Voltmeter (von 0 bis 5 Volt geaicht), sowie die Dichte der Schwefelsäure mit einem Aräometer. Während der Ladung zeigen die Accumulatoren im guten Zustande mehr als 2 Volt. Bleiben sie jedoch unter 2 Volt, so kann dies die Folge eines größeren oder kleineren Kurzschlusses und langer Entladungsdauer sein. Vermehrt sich die Klemmenspannung bei der Ladung nicht, so hat man einen Kurzschluss. Nach der Ladung zeigen die Accumulatoren nahezu 2 Volt. Bleibt die Spannung unter 2 Volt, so ist ein Kurzschluss vorhanden. Denselben zeigt auch ein Accumulator bei der Entladung, wenn dessen Klemmenspannung unter 1·8 Volt sinkt.

8. Princip, Eigenschaften und Betrieb der Kupfer-Zink-Accumulatoren.

Die Kupfer-Zink-Accumulatoren haben in jüngster Zeit für Tractionszwecke mehrfach Verwendung gefunden, u. zw. insbesondere seitdem es Wadell-Entz gelungen ist, derartige Accumulatoren von großer Capacität herzustellen.

Die Wadell-Entz-Type besteht aus einer positiven Elektrode (Platte), gebildet aus porösen Kupferdrahtspiralen, auf welchen durch eine besondere Fabrikationsweise Kupferoxyd in einem Drahtgespinst eingebracht ist. Jede positive Platte ist mit einem Baumwollsack umgeben. Als negative Platte wird ein Stahldrahtgewebe verwendet, auf welchem während der Ladung Zink niedergeschlagen wird. Beide Elektroden werden in ein Stahlgefäß eingesetzt, in welchem sich als Elektrolyt Kalilauge befindet, welches Zink in Lösung enthält. Über der Flüssigkeit befindet sich zum Abschlusse derselben gegen die atmosphärische Luft eine Ölschichte. Dem Elektrolyt wird zur regelmäßigeren Zinkabscheidung an der Eisenplatte Quecksilber beigegeben.

Der chemische Process, welcher bei diesen Accumulatoren stattfindet: ist folgender. Bei der Ladung, bei welcher wegen besserer Circulation der Flüssigkeit die Zellen auf 45 bis 50° C. erhitzt werden müssen, geht der Kupferschwamm am positiven Pol in Kupferoxydul über, und das Zink schlägt sich als Metallmasse am negativen Pol nieder. Dieser Zinkniederschlag ist proportional der Anzahl der aufgewendeten Ampèrestunden. Bei der Entladung wird der Zinkniederschlag wieder in Lösung gebracht und das Kupferoxydul zu porösem Kupfer reduciert. Das Element wirkt in dieser Phase, wie ein Primärelement.

Die elektromotorische Kraft der Zelle beträgt im Ladezustand, u. zw. bei offenen Polklemmen 0·89 Volt, im Stromschluss etwa 0·80 Volt. Der innere Widerstand ist bei hoher Entladestromstärke minimal. Die Capacität einer z. B. aus 12 Platten von 320*mm* Höhe, 110*mm* Breite gebildeten Zelle beträgt 300 A. H. bei einer nutzbaren Spannung von 0·77 Volt.

Hinsichtlich des Betriebes ist Folgendes zu bemerken:

Beim Entladen hält das Element seine anfängliche Klemmenspannung von 0·8 Volt nahezu constant bis zum Schluss der Entladung, welcher dann eintritt, wenn das auf der Stahlplatte niedergeschlagene Zink wieder vollständig in Lösung gegangen ist; die Spannung sinkt gegen Schluss der Entladung rasch auf den Wert Null. Das Element erlaubt im besonderen hohe Entladungsstromstärken anzuwenden, und eignet sich daher vorzüglich dort, wo solche gefordert werden müssen, wie dies z. B. bei der elektrischen Zugförderung der Fall ist. Bei niederen Entladestromstärken wird das Element ungünstiger beansprucht als der Blei-Accumulator.

Beim Laden steigt die Ladespannung sofort auf 0·9 und hält sich nahezu bis gegen Ende der Ladung constant, in welchem Falle das Element eine Klemmenspannung von 1 Volt erreicht. Über diese Spannung darf das Element nicht weiter geladen werden, damit keine zu hohe Oxydationsstufe (Kupferoxyd) der positiven Platte erreicht wird.

Sollen theilweise entladene Zellen nachgeladen werden, so gilt hiefür ebenfalls 1 Volt Klemmenspannung als Grenze der zulässigen Ladung. Die Accumulatoren müssen alle 10 Tage eine Gegenladung erhalten, wozu zuerst das Element vollständig auf Null entladen, und dann im entgegengesetzten Sinne mit schwacher Stromstärke geladen werden soll, u. zw. solange, bis die Spannung auf 1·7 Volt pro Zelle steigt. Betriebsstörungen treten nur bei ungleichmäßigen Zinkabscheidungen auf, welche aber bei richtiger Erwärmung der Zellen vermieden werden können. Schlechte Zellen werden gewaschen und nach Erhaltung einer Gegenladung zum weiteren Gebrauch wieder verwendet.

Im Vergleiche zu den Blei-Accumulatoren zeigen die Kupfer-Zink-Accumulatoren wesentliche Unterschiede und erscheinen im Wesen mehr als Primär-, denn als Secundärgeneratoren. Sie besitzen das entgegengesetzte Verhalten der Blei-Accumulatoren, da ihnen eine zu große Entladung nicht schadet, ferner sie anderseits eine Überladung wieder nicht vertragen. Sie besitzen weiters den Vortheil, dass sich die Platten nicht krümmen, wie dies bei weitgehenden Entladungen der Blei-Accumulatoren der Fall ist. Sie eignen sich aber nicht für eine andauernde Accumulierung von Elektricität, da sie ihre Ladecapacität sehr rasch verlieren und im geladenen Zustande nicht länger als wenige Tage stehen bleiben können. In dieser Hinsicht erscheint der Kupfer-Accumulator gegenüber dem Blei-Accumulator ungünstig und für den Lichtbetrieb sehr wenig geeignet; doch sichert ihm seine große Capacität bei großer Entladestromstärke eine fast ausschließliche Verwendbarkeit für Zugförderungszwecke, insbesondere, wo größere Steigungen vorkommen.

Bei gleicher nutzbarer Leistung verhält sich angeblich das Gewicht des Blei-, zum Kupfer-Zink-Accumulator, wie 1 : 0·55.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ist es bei der Neuheit der Erfindung schwer, positive Angaben zu erlangen und muss deren Feststellung der Zukunft überlassen bleiben. Als Nachtheil ist die geringe Dauer des Ladezustandes und das Anwärmen des Accumulators für den Ladezustand, als Vortheil noch die hohe Regenerierfähigkeit des Elementes zu bezeichnen, welche bei richtiger Wartung eine fast unbegrenzte Dauer des Elementes verspricht.

9. Verwendung der Accumulatoren.

Den Accumulatoren kommt in technischer Beziehung eine vielfache Verwendungsart zu. Man kann Blei-Accumulatoren sowohl für die Zwecke der Beleuchtung, als auch für jene der Kraftübertragung (Tractionszwecke), dann für den Telegraphenbetrieb, für elektrochemische Zwecke etc., die Kupfer-Zink-Accumulatoren für Zugförderungszwecke verwenden. Bei der elektrischen Beleuchtung wird sich die Verwendung der Accumulatoren insbesondere dann praktisch erweisen, wenn der Stromverbrauch großen Variationen unterliegt. Zur Zeit des geringen Stromverbrauches (bei wenig activierten Lampen) arbeitet eine Maschinenanlage nicht mehr ökonomisch; man stellt in diesem Falle die Maschine ab und speist dann die Lampen durch den angewendeten Sammler (Secundärbetrieb). Anderseits kann eine schon vorhandene Betriebskraft dadurch besser ausgenützt werden, dass die überzählige Betriebskraft in Sammlern aufgespeichert wird, um bei späterem Bedarfsfalle sodann weiter ausgenützt zu werden. In diesem Falle arbeiten Dynamo und Accumulator während der Periode des stärksten Bedarfes zusammen; während des schwachen Betriebes wird jedoch die Dynamo auf den Sammler arbeiten.

Die Accumulatoren haben den Vortheil, dass sie nebst Erzielung eines gleichmäßigen ruhigen Lichtes die Herstellung einer gleichmäßigen Betriebsspannung in Beleuchtungsanlagen gestatten. Die Accumulatoren schaffen die sicheren und unbedingt nothwendigen Reserven für Theater und Centralen, sie ermöglichen eine Ersparnis an der Maschinenanlage, sowie die günstige Ausnützung einer solchen; ferner sind die Accumulatoren die zuverlässlichsten Regulatoren in elektrischen Betrieben.

Eine überaus reiche Verwendbarkeit finden ferner die Accumulatoren in transportabler Form für die Zugbeleuchtung, Equipagenbeleuchtung, für transportable elektrische Sicherheitslampen, sowie für Trambahnbetriebe.

Sie haben jedoch den Nachtheil, dass sie hohe Anschaffungskosten involvieren und ferner für Vorfeld-Beleuchtungsapparate eine vermehrte Arbeitsumsetzung bedingen. Hingegen vereinfachen sie wieder bei stabilen Anlagen den Betrieb wesentlich.

Das elektrische Licht.

A. Die Glühlampen.

1. Beziehungen zwischen Temperatur und verbrauchter Energie in einem Leiter.

Auf Seite 65 wurde gezeigt, dass ein elektrischer Strom von der Intensität i imstande ist, im Leiter vom Widerstande r eine Wärmemenge $w = i^2 r$ pro Zeiteinheit zu entwickeln.

Infolge dieser Wärmeentwicklung erhöht sich einerseits die Temperatur des Leiters über jene seiner Umgebung, und zugleich verliert der Leiter Wärme, sowohl durch Ausstrahlung, als auch durch Mittheilung (Ableitung an seine Umgebung). Es kann daher die Temperatur im Leiter nur so hoch steigen, als die in jedem Zeitelemente in ihm entwickelte Wärmemenge größer ist, wie

die gleichzeitig durch Ausstrahlung und Mittheilung verloren gehende. Ist die letztere der ersteren gleich geworden, so bleibt die Temperatur des Leiters constant.

Für die verloren gehende Wärmemenge kann auf Grund des Newton'schen Gesetzes ein algebraischer Ausdruck festgestellt werden. Ist nämlich ε die Wärmemenge [1]), welche jede Flächeneinheit der Leiteroberfläche in der Zeiteinheit verliert, wenn die Temperatur des Leiters um 1° höher als jene der Umgebung ist, und f die Oberfläche des Leiters, so ist die bei einem Temperaturüberschusse von t^0 über die Umgebung in jeder Zeiteinheit verloren gehende Wärmemenge $w_1 = \varepsilon F . t^0$.

Da die während der Zeiteinheit durch den elektrischen Strom im Leiter entwickelte Wärmemenge $w = i^2 r$ ist, wird bei stationärer Temperatur sonach $w_1 = w$ werden müssen.

Nach obiger Erörterung wird folglich $\varepsilon F t^0 = i^2 r$ und $t^0 = \frac{i^2 r}{\varepsilon F}$ sein.

Es wächst nach diesem allgemeinen Ausdrucke die Temperatur t mit der Stromstärke und mit dem Widerstande.

Für einen cylindrischen Körper (Draht, Kabel, Kohlefaden) vom Durchmesser d, der Länge l und von dem specifischen Leitungswiderstande s wird

$$t^0 = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{s \,.\, i^2}{\varepsilon\, d^3}$$ [2])

werden, d. h. die Temperaturerhöhung eines von einem elektrischen Strome durchflossenen, cylindrischen Leiters ist:

a) dem Quadrate der Stromstärke,

b) dem specifischen Leitungswiderstande direct, dagegen

c) der dritten Potenz des Durchmessers und

d) dem Werte von ε verkehrt proportional.

Will man sonach eine hohe Temperatur erzielen, so braucht man nur dünne Leiter von großem specifischen Leitungswiderstande und von schlechter Wärmeleitung zu nehmen.

Durch fortgesetzte Wärmezufuhr kann nun die Temperatur in einem Leiter so hoch ansteigen, dass der Körper ins Glühen geräth und dass hiebei Lichterscheinungen auftreten (Glühlicht). Der Körper wird zuerst (bei etwa 500° C.) rothglühend werden, und die ausgehenden Lichtstrahlen werden in dem Maße, als die Temperatur zunimmt, nach und nach ins Weiße übergehen. Erfahrungsgemäß wächst die ausgestrahlte Lichtmenge mit der Temperatur viel schneller, als die verbrauchte Wärmemenge; die Menge der wirklich leuchtenden Strahlen ist jedoch im Vergleiche zur gesammten, überhaupt ausgesendeten Lichtmenge gering; sie beträgt z. B. bei Glühlampen nur etwa 30% [3]).

---

[1]) D. i. das specifische Emissionsvermögen für die Wärme, welches von der Oberfläche, von der Natur des Körpers, dann von den Umgebungsmittel etc. abhängt.

[2]) Durch entsprechende Transformation kann diese Gleichung auch umgewandelt werden in: $t^0 = \frac{4\, E^2\, s}{\pi\, \varepsilon\, W^2\, d^3}$, woraus sich ergibt, dass die Temperatur mit dem Quadrate der Klemmenspannung E wächst.

[3]) Nichtsdestoweniger ist der Verbrauch an Energie bei gleicher erzeugter Lichtmenge für das elektrische Licht sehr günstig. So braucht z. B. eine Kerze in der Secunde eine Wärmemenge, die 90 Watt äquivalent ist, ein Gasbrenner 60 Watt, eine Glühlampe 3 Watt, ein Bogenlicht 1 Watt.

2. Princip der Glühlampe.

Nach der zuvor gemachten Darlegung bedarf es keiner weiteren Auseinandersetzung, um einzusehen, dass man aus der bis zum Eintreten heller Glühhitze gesteigerten Wärmeentwicklung, welche durch den elektrischen Strom in geeigneten Leitern erzeugt wird, schon frühzeitig praktischen Nutzen zu Beleuchtungszwecken zu ziehen versuchte. Anfangs bediente man sich dünner Metallfäden, von welchen Platin als das geeignetste Material angewandt wurde; später ging man jedoch wegen des geringen Widerstandes und leichten Durchschmelzens der Metallfäden auf Kohlefäden über, welche auch gegenwärtig bei den modernen Glühlampen verwendet werden.

Diese Kohlefäden wurden aus den verschiedensten Materialien gefertigt. Ursprünglich nahm man Retortenkohle, Graphit, dann verfertigte man sie aus verkohlten Pflanzenfasern (Bambus, Piassava, Para etc.), aus Seide, Baumwolle, Zwirn, Papier, Gelatine und in neuerer Zeit wendet man sich wieder der gelösten Cellulose zu, welche sehr gute und gleichmäßige Kohlenfäden zu erzeugen gestattet. Die Metallfäden wurden zu ihrem Schutze in eigene Glashüllen eingeschlossen und mit entsprechendem Zubehör (Fassungen) versehen. Bei den Kohlefäden wurden diese Glashüllen noch luftleer gemacht, um die zu rasche Verbrennung der Kohlefäden zu hindern und dadurch die Lebensdauer derselben zu verlängern.

Durch Anwendung von verschiedenen Materialien für die Kohlefäden, von verschiedenen Abschlussformen, verschiedener Verbindungsweise mit der Stromleitung u. dgl. m. entstanden im Laufe der Zeit eine große Menge von Glühlampenconstructionen, die sich mehr oder minder in die Praxis eingebürgert haben.

Im allgemeinen setzt sich jede Glühlampe aus folgenden wesentlichen Theilen zusammen, u. zw.:

a) dem Kohlefaden mit seinen Enden, Füßchen genannt,

b) der den Faden umschließenden Glasbirne,

c) der die letztere tragende und die Stromzuleitung enthaltende Fassung.

Im nachfolgenden sollen diese drei Bestandtheile einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

ad *a*) Der Kohlefaden soll von großer Gleichmäßigkeit und Härte hergestellt sein. Die Befestigung mit den Stromzuleitungsdrähten soll durch einen gut leitenden Kitt geschehen.

Fig. 302.

In der Mehrzahl gibt man den Fäden die Hufeisen, Schleifen- oder Spiralform (Fig. 302). Maxim gibt z. B. seinen aus Papier gestanzten Kohlefaden die Form eines *M*.

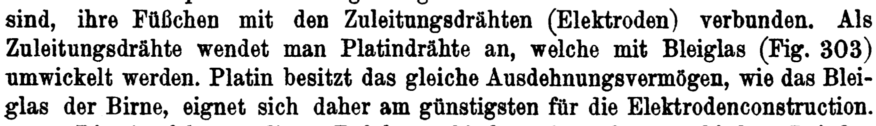
Die Kohlefäden werden nach den neueren Verfahren dadurch erzeugt, dass man hiezu Collodium, d. i. Schießbaumwolle in Alkohol und Äther gelöst, verwendet. Das erwärmte Collodium wird mit etwas Phosphorsäure oder anderen Stoffen versetzt, und entweder auf eine Platte gegossen, wo es dann in entsprechende Fäden geschnitten wird, oder es werden mittels besonderen Apparaten aus dem Collodium Fäden gesponnen, u. zw. bei Gegenwart von Tannin oder Eisenoxydulsalzen. Sind die Fäden getrocknet, so müssen sie einem Reductionsprocess unterworfen werden, da sie sonst explosionsartig verbrennen würden. Dies geschieht in verschiedener Weise (z. B. durch Behandeln mit Schwefelammonium u. a. m.). Die Fäden

werden sodann gewaschen, getrocknet und nachher einer Verkohlung (innere Carbonisation) in Graphitmuffeln, Kohlepulvertiegeln oder in eigenen Verkohlungsöfen unterworfen. Durch langsame Steigerung der Temperatur bis zu 2.500° C. verkohlen die Fäden, welche nach ihrer Herausnahme aus den Öfen sodann in entsprechende Länge geschnitten werden, und behufs ihrer „Präparatur" zur Widerstandsmessung kommen. Präparirt werden die Kohlefäden in der Weise, dass man sie in einem Recipienten einschließt, die Luft evacuiert und die Kohlefaden bei Gegenwart flüssiger oder gasförmiger Kohlenwasserstoffe zum Glühen bringt. Hiedurch findet eine Anhäufung von Kohlenstoff an den Fäden statt. (Äußere Carbonisierung.)

Fig. 303.

Fig. 304.

Sind dergestalt die Kohlefäden präpariert worden, so werden, nachdem sie auf eine der Spannung und Kerzenzahl entsprechende Länge abgeschnitten worden sind, ihre Füßchen mit den Zuleitungsdrähten (Elektroden) verbunden. Als Zuleitungsdrähte wendet man Platindrähte an, welche mit Bleiglas (Fig. 303) umwickelt werden. Platin besitzt das gleiche Ausdehnungsvermögen, wie das Bleiglas der Birne, eignet sich daher am günstigsten für die Elektrodenconstruction.



Die Ausführung dieser Füßchenverbindung ist sehr verschieden. Bei den älteren Glühlampen wurden die Enden der Elektroden (Platindrähte) flach geschlagen und mit einer Zange um die Kohle gebogen. Die innigere Verbindung erzielte man auf galvanoplastischem Wege durch Niederschlagen von Kupfer. In neuerer Zeit wendet man meist einen Kitt an, welcher verschiedenartig zusammengesetzt, nach dem Auftragen und Trocknen ausgeglüht wird.

Durch Eintauchen der Füßchen in flüssigen Kohlenwasserstoff (Benzin etc.) und Durchleitung eines elektrischen Stromes kann ein wesentlich inniger Contact zwischen Füßchen und Kohlefaden bewirkt werden.

Die Füßchen mit den präparierten Kohlefäden kommen sodann in die Glasbläserei, werden daselbst in die Glasbirne eingeschmolzen (Fig. 304) und behufs Evacuierung in eigene Pumpstationen gebracht. Hier werden die Lampen mittels Quecksilberluftpumpen möglichst luftleer gemacht, und dabei die Glühlampen zum Weißglühen gebracht. Ist die Lampe ausgepumpt, so wird ihre Birne zugeschmolzen, hierauf ihre Leuchtkraft bei bestimmter Spannung durch photometrische Lichtmessung ermittelt und alle photometrierten Lampen auf das Lager gebracht.

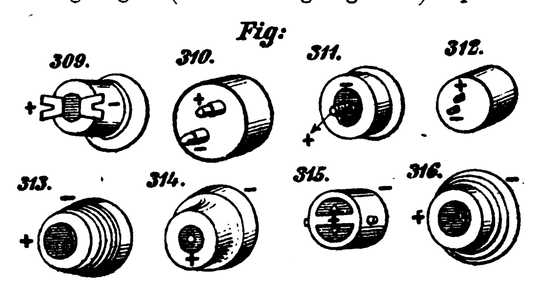
Je nach der Bestellung werden die Lampen später mit den gewünschten Contacten versehen. Kohlefäden für 100 und mehr Kerzen, sowie für Spannungen über 150 Volt müssen ihrer Länge wegen durch Platinhäckchen am oberen Ende gehalten werden.

Fig: 305. 306. 307. 308.

ad *b*) Die Glasbirne soll möglichst luftdicht den Kohlefaden umschließen; sie passt sich nach Größe und Gestaltung dem Kohlefaden an, und wird die Form und das Glasmaterial der Birne nach den verschiedensten Zwecken der Glühlampen variieren (Birnen-, Ei-, Kugel-, Röhren-, Kerzenform). In der Fig. 305 ist z. B. eine Normalform, in Fig. 307 eine Kerzenform, in Fig. 308 eine Kugelform, in Fig. 306 eine

Focuslampe (zur Concentration des Lichtes auf eine bestimmte Fläche) dargestellt. Vielfach werden die Lampen für Specialzwecke auch gefärbt, oder mit einem Spiegelbelag versehen.

ad *c*) Die Contactconstructionen sind ebenso mannigfach als die Glühlampenformen. In früheren Jahren wurden die Platindrähte einfach zu Ösen gebogen (Swanfassung Fig. 308). Später hat man die Birne mit den entsprechend verlängerten Elektroden (Kupferdrähte) in eigene Fassungen eingegipst, um die Folgen schädlicher Erschütterungen zu vermeiden.



Als Beispiele von Contacten ist in Fig. 309 die Siemens - Construction, in Fig. 313 der Edison-Contact, in den Figuren 310 bis 316 eine weitere Reihe von Contacten dargestellt. Der eine, entweder einen Flügel, Steckstift, Stiftschraube, Öse, Contactknopf etc. darstellende Pol ist von dem zweiten, eine Hülse oder ebenfalls einen Flügel, Steckstift, Öse, darstellenden Pol durch die Gypsmasse entsprechend isoliert.

3. Eintheilung, Energieverbrauch und Lebensdauer der Glühlampen.

Die Glühlampen theilt man ein:

a) nach ihrer Leuchtkraft, z. B. in 2-, 5-, 8-, 10-, 16-, 25-, 50-, 100-, 300 kerzige Glühlampen,

b) nach dem Spannungserfordernisse in 25-, 50-, 65-, 100-, 120 etc. voltige Lampen,

c) nach ihrer Schaltungsweise in solche für Parallel-, oder Hintereinanderschaltung,

d) nach ihrer Constructionsart, z. B. Typ Siemens, Edison etc. endlich

e) nach ihrem Zwecke (Normal-, Röhren-, Focuslampen etc).

Die Leuchtkraft der Glühlampe hängt von dem Energieaufwande pro Normalkerze ab, und letzterer wird wieder durch die Stromstärke und Spannung bestimmt. Bei constanter Spannung ist die Leuchtkraft dem Stromverbrauche proportional. Je kleiner aber der Energieaufwand ist, desto ökonomischer (billiger) sind die Glühlampen. Die gebräuchlichen Glühlampen geben im allgemeinen 3·3 bis 3·5 Watt pro 1 Normalkerze Leuchtkraft. Diese Ökonomie ändert sich aber mit der Betriebsart und mit den Dimensionen der Kohlenbügel.

Hinsichtlich der Stromstärke und Spannung gibt die nachstehende Tabelle die für den Typ Siemens & Halske gebräuchlichen Daten:

Lichtstärke in Kerzen	5	8	10	10	16	16	25
Spannung in Volt	25	50	65	100	65	100	100
Stromstärke in Ampère	0·7	0·56	0·54	0·4	0·8	0·57	0·87
Widerstand in Ohm (heiß) . . .	36	89	120	256	81	175	164

Jede Lampe braucht für ihr günstigstes Brennen einen ganz bestimmten Stromconsum, der vom Material und von den Dimensionen der Kohlenbügel abhängig ist.

Der specifische Widerstand der neueren Kohlenmaterialien ist etwa 29 (Ohm). Der Widerstand im kalten und warmen Zustande variiert wesentlich.

Die Lebensdauer der Glühlampen steht mit der Ökonomie im directen Gegensatze, und es zeigt die Erfahrung, dass „niederwattige" Glühlampen (also solche mit geringem Energieverbrauch) eine wesentlich geringere Brenndauer besitzen, als „hochwattige" (oder solche mit größerem Energieverbrauche). Während die letzteren eine durchschnittliche absolute Brenndauer von 1.000 Brennstunden liefern, zeigen erstere nur mehr eine solche von 250 Brennstunden; allerdings sind letztere halb so theuer als erstere. Überspannungen beim Betriebe verkürzen die Lebensdauer umsomehr, je größer diese Überspannung ist (z. B. eine Überspannung von 25% vertragen die Glühlampen nur wenige Stunden).

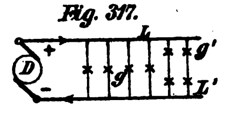
4. Schaltungsweisen.

Die weitaus gebräuchlichste Schaltungsweise der Glühlampen ist:

1. Die Parallelschaltung, wobei sämmtliche Lampen G mit zwei gemeinsamen Leitungen $L L^1$ (Fig. 317) verbunden werden.

Die Parallelschaltung hat den Vortheil, dass die Lampen je nach Bedarf einzeln oder in Gruppen ausgeschaltet werden können. In ein und denselben Stromkreis können nur Lampen gleicher Spannung g (Fig. 317) geschaltet werden. Bei ungleicher Spannung müssen so viele hintereinander geschaltet werden (g^1), dass die Summe ihrer Spannungen der Spannung im Stromkreis gleichkommt.

Fig. 317.



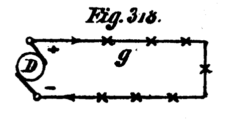
Beispiel. Es sind 6 Stück 100 voltige und 2 Stück 50 voltige Glühlampen parallel, letztere 2 hintereinander geschaltet. Die nothwendige Stromstärke ist:

$$J = 6 . 0{\cdot}54 + 0{\cdot}3 = 3{\cdot}59 \text{ Ampère,}$$

wenn erstere Lampen 0·54, letztere 0·3 Ampère Stromverbrauch fordern.

2. Die Hintereinanderschaltung von Glühlampen (Fig. 318) wird mit Vortheil dort angewendet, wo die Entfernung der einzelnen Lampen sehr groß oder die Lichtconsumstelle von der Stromquelle entfernt liegt, wie dies z. B. bei einer Straßenbeleuchtung vorkommt.

Fig. 318.



Hiedurch bekommt man billigere Leitungen und die Glühlampen selbst, welche jedoch für diese Schaltungsart eine besondere Construction besitzen müssen, bedürfen eine geringere Ökonomie bei einer längeren Brenndauer. Um aber mit der Unterbrechung in einer Glühlampe nicht sämmtlich andere zu unterbrechen, müssen sie eigene (automatische) Kurzschlussvorrichtungen erhalten.

Beispiel. Es sind 7 Stück 16 kerzige, 50 voltige Glühlampen hintereinander zu schalten; wie groß ist der Energieverbrauch? Da $J = 0{\cdot}80$ Ampère und $e = 7 \times 50$ Volt ist, wird $A = 0{\cdot}80 \times 350 = 280$ Watt sein.

5. Aufhängevorrichtungen.

Die Glühlampen werden behufs ihrer örtlichen Verwendung in eigene „Lampenfassungen“ eingesetzt, welche verschiedenartig gestaltet sind und entweder **ohne** oder **mit Ausschalter** montiert werden. Im ersteren Falle sind gesonderte Ausschaltvorrichtungen in der Zuleitung eingebaut.

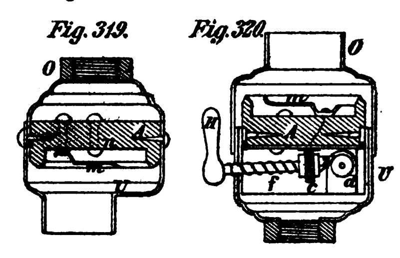


Fig. 319. Fig. 320.

Die Figuren 319 und 320 stellen zwei Fassungen der Firma **Siemens & Halske** dar, u. zw. Fig. 319 eine solche ohne, Fig. 320 eine solche mit Ausschalter.

Dieselben bestehen aus einem Porzellankörper A, der in eine obere O und untere Metallhülse U eingeschlossen ist. Mittels der ersteren werden die Fassungen an den Aufhängvorrichtungen angeschraubt; durch die letztere wird die Glühlampe eingeführt und deren Contacte durch die Klemmfedern *m* gehalten. Die Ausschaltvorrichtung in Fig. 320 besteht aus einer kleinen Welle, welche mittels der Handhabe H gedreht wird und am Ende einen schief abgeschnittenen Theil z, sowie den Contact c besitzt; z legt sich gegen eine Rolle d. Wird der Hebel H umgelegt, so gleitet z von d ab und der Contact c entfernt sich von der ober ihm befindlichen Leitungsverbindung. Wird H zurückgedreht, so legt sich c an den Contact wieder an und schließt damit die Glühlampenleitung.

Mit solchen Fassungen werden die Glühlampen an den „**Beleuchtungskörpern**“ (Aufhängevorrichtungen) befestigt, deren Zahl und Construction ebenfalls eine große Mannigfaltigkeit besitzt.

Für die Befestigung an den Decken der Wohnräume etc. werden meist Gasrohre (sogenannte „**Penden**“) verwendet, welche mittels kleiner, gusseiserner Füße an die Wand festgeschraubt, oder mittels Bügel an Haken aufgehängt werden. Am anderen Ende des Gasrohres wird die Fassung angeschraubt.

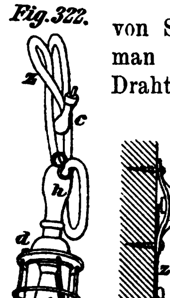


Fig. 322. Fig. 321.

Der Lichteffect kann bei den Glühlampen durch Anwendung von Schirmen noch erhöht werden. Gegen Erschütterungen hängt man die Lampe an die Leitungsdrähte selbst, oder an einer eigenen Drahtspirale auf.

Ähnlich der Ausgestaltung der Penden ist auch jene der **Wandarme**, von welchen ein Typ in Fig. 321 dargestellt ist. In der Figur bedeutet: g die Glühlampe, s den Reflexionsschirm, f die Fassung, d den Schirmträger, t den Wandarm und z die Stromleitung. In der Fig. 322 ist eine **mobile Glühlampenarmatur** gegeben. Die Glühlampe i ist gegen mechanische Einwirkungen zuerst mit einer Glasglocke (Schutzglas) a, dann mit einem Schutzgitter g umgeben. Der luftdichte Abschluss der Glocke a wird durch einen Deckel d bewirkt, der, das Schutzglas mittels Gummiringes abdichtend, an dem oberen Ringe des Schutzgitters festgeschraubt wird. Die Handhabe h gestattet die Manipulation mit der Lampe; in sie mündet

das flexible Zuführungskabel *z*, das am anderen Ende einen Stöpselcontact *c* besitzt, mit welchem die Lampe an einem an der Wand befindlichen Steckcontact angeschlossen wird.

Für feuergefährliche Räume oder für solche mit explosiblen Gasen, dann auf Schiffen werden die Lampen in besonderen, luftdichten Armaturen eingeschlossen. Gegen die Wirkung von Stößen, Luftdruck bei feuernden Geschützen etc., versieht man die Glühlampen zweckmäßigerweise mit elastischen Unterlagen.

Dort, wo bereits eine Gasbeleuchtung vorhanden ist und nachträglich eine elektrische Beleuchtung eingeführt wird, bewirkt man die Befestigung der Lampen an den Lampenkörpern mittels sogenannter „Schellen".

6. Lichtvertheilung. Vortheile des Glühlichtes.

Beim Glühlicht ist das Licht in wagrechter und lothrechter Richtung infolge der Kohlefadenconstruction ungleichmäßig vertheilt. Die Figuren 323, 324 zeigen diese Lichtvertheilung für einen hufeisenförmig gekrümmten Glühlichtfaden. Diese Diagramme gestatten, die mittlere horizontale und die mittlere verticale Lichtintensität zu bestimmen, welche durch den mittleren Radiusvector der betreffenden Curven gemessen werden. Dividiert man die auf der Oberfläche einer um die Lichtquelle gelegten Kugel erhaltene, totale Lichtintensität durch die Oberfläche, so erhält man die „mittlere räumliche Intensität"; letztere gestattet, verschiedene Lichtquellen miteinander zu vergleichen und den Nutzeffect einer Lampe zu bestimmen.

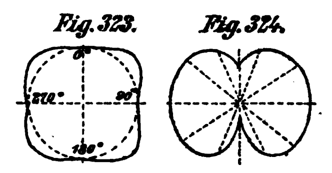


Fig. 323. Fig. 324.

Das Maß der Glühlichtbeleuchtung richtet sich nach dem Zwecke der Räume, Größe derselben und nach der Aufhänghöhe der Lampen.

Im allgemeinen werden bei der Projectierung von Beleuchtungsanlagen in Bezug auf die Lichtstärke keine Berechnungen angestellt[1]), sondern empirisch die Zahl der Lampen bestimmt. Bei feineren Arbeiten rechnet man für jeden Arbeitsplatz, bei gröberen Arbeiten für zwei bis drei Plätze je eine Lampe. Für die Innenbeleuchtung von Fortificationen werden für die Wohnräume je eine, für Communicationen je nach Länge und Form derselben eine und mehr Lampen, für die eventuelle Außenbeleuchtung alle 20 bis 40 m eine, etwa 3·5 m hoch gehängte Glühlampe gerechnet. In Fabriken rechnet man 0·5 bis 1 Normalkerze pro m^2 Bodenfläche.

Die günstigste Stellung der Lampe ist jene, bei welcher die Lampe eine Höhe h gleich 0·7 des Radius des zu beleuchtenden Bodenkreises b besitzt[2]). Da fast immer mehrere Glühlampen in einen Lampenstromkreis geschaltet werden, so montiert man behufs gleichmäßigen Glühzustandes die Lampen derart, dass der Spannungsverlust zwischen der ersten und letzten Lampe einer Gruppe nicht mehr, wie 1 bis 2 Volt, beträgt.

[1]) Für den Ersatz des Tageslichtes werden 50 Meterkerzen gerechnet. 10 Meterkerzen genügen noch für feinere Arbeiten, wo das Auge nicht leiden soll.

[2]) Für eine 16kerzige Glühlampe wird $h = 0·7\, b$.

Die Glühlampen haben gegenüber den Bogenlampen den Nachtheil eines größeren Arbeitsverbrauches, und ist auch bei den Glühlampen die Temperaturerhöhung bei derselben Kerzenzahl eine größere als bei den Bogenlampen. Die Wiedergabe der natürlichen Farben ist ausgeschlossen. Sie haben aber den Vortheil, dass die Theilung des Lichtes eine vollständige ist, kleine Räume vorzüglich beleuchtet werden können, ferner die Handhabung einfach und bequem ist. Infolge eines sicheren Abschlusses lassen sie sich mit Vortheil in Räumen mit Explosivstoffen oder auch unter Wasser verwenden.

7. Betrieb und Betriebsstörungen.

Da für die Glühlichtbeleuchtung meist Nebenschluss- oder Compounddynamos in Verwendung kommen, so gilt für den Beginn des Betriebes Folgendes:

Hat die Dynamomaschine ihre normale Tourenzahl erreicht, so werden die Glühlampen eingeschaltet, und die Spannung mit dem Nebenschlussregulator allmälig reguliert.

Bei Beendigung des Betriebes wird entweder die Maschine abgestellt, oder man entlastet nach und nach den Motor durch Ausschalten von Glühlampen, reguliert hiebei mit dem Nebenschlussrheostaten die Maschinenklemmenspannung herab, und unterbricht den Rheostaten und nachher den Hauptstromausschalter. Die Maschine wird hierauf abgestellt. Während des Betriebes muss die Klemmenspannung constant erhalten werden (Regulieren mit dem Nebenschlussrheostaten).

Die Betriebsstörungen einer Glühlichtanlage betreffen ein schlechtes oder ein Nichtfunctionieren der Glühlampen, hervorgebracht:

a) durch schlechte, gebrochene oder durchgebrannte Kohlenbügeln, oder durch schwache Stellen der Fäden;

b) unzureichende Evacuierung der Lampe, wobei die Lampe sehr heiß wird und sich immer berußt;

c) durch Überlastung der Lampe infolge zu hoher Spannung oder anderseits durch Anwendung zu niederer Klemmenspannung; durch

d) schlechte Befestigung der Lampen, womit Contact- und Isolationsfehler in den Fassungen und Beleuchtungskörpern hervorgerufen werden; endlich

e) durch Fabricationsfehler.

Die Überprüfung fehlerhafter Lampen erfolgt durch den äußeren Beschau, welcher sofort Brüche der Kohlefäden, schlechte Isolation der Fassungen etc. anzeigt. Fehlerhafte Beleuchtungskörper und Fassungen müssen eventuell mit Hilfe der Leitungsprüfer auf die Continuität der Leitungen, sowie auf einen möglichen Kurz-, bezw. Eisenschluss untersucht werden.

Neue Lampen werden durch die Messung ihres Stromverbrauches, eventuell ihres Widerstandes, ihrer Leuchtkraft und Lebensdauer (Haltbarkeit) überprüft. Die Ermittlung der Leuchtkraft erfolgt durch photometrische Messungen.

Bezüglich der Leitungen für Glühlichtanlagen wird auf das Capitel „Leitungen" verwiesen.

B. Das elektrische Bogenlicht.

1. Das Wesen desselben.

Unterbricht man den metallischen Stromkreis eines kräftigen, elektrischen Stromes an irgend einer Stelle, so springt zwischen den Unterbrechungsstellen ein Funke über (Öffnungsfunke). Die Farbe dieses Funkens ändert sich mit den Metallen, zwischen welchen er überspringt, und ist umso lebhafter, je leichter die Metalle verdampfen oder verbrennen. Dieser Funke ist nur die Folge des galvanischen Glühens, welches durch die Querschnittsverminderung des Leiters und des dadurch bewirkten hohen Widerstandes hervorgerufen wird. Eine solche Verminderung (Fig. 325) tritt immer dann ein, wenn man zwei mit den Polen einer Elektricitätsquelle verbundene Leitungsdrähte mit ihren Enden aneinander presst und sodann wieder voneinander entfernt. Es entsteht im Momente der Trennung ein Glühen der sich in nur mehr wenig Punkten berührenden Stellen der Drähte und damit eine Verbrennung, welche sichtbar sodann als Funke auftritt. Bei Anwendung sehr kräftiger Elektricitätsquellen kann man einen continuierlichen Übergang der Elektricität erhalten, wenn man die getrennten Theile in einer bestimmten Entfernung von einander festhält. Man erhält dann zwischen den getrennten Enden des Schließungskreises den sogenannten „Davy'schen Lichtbogen" (Fig. 326), welcher zu den glänzendsten Naturerscheinungen gehört. Davy war der erste, welcher mit Hilfe von Kohlenstiften und bei Anwendung von etwa 2.000 galvanischen Elementen den elektrischen Lichtbogen hervorgebracht hat. Nachdem er zwei Kohlenstifte in Berührung gebracht und sodann von einander auf eine bestimmte Länge entfernt hatte, bildete sich zwischen den Kohlenspitzen ein dauernder Lichtbogen, durch welchen die Continuität des Stromes trotz der Unterbrechungsstelle unterhalten werden konnte. Die bei dieser Elektricitätsfortleitung auftretenden Erscheinungen waren: *a*) lebhaft glänzend weiße Kohlenenden und *b*) ein violettes ausgebreitetes und bewegliches Licht (die Lichtbogenflamme).

Fig. 325.



Fig. 326.



Aus den spectralanalytischen Untersuchungen des Lichtbogens hat man weiters erkannt, dass der elektrische Lichtbogen wesentlich eine Glüherscheinung, u. zw. ein Öffnungsfunke ist. Bei der Trennung der Kohlen kommt bei hinreichend großer elektromotorischer Kraft der Stromquelle, an den Kohlenenden ein so hohes Potentiale und somit eine so große Spannung der entgegengesetzten Elektricitäten zum Vorschein, dass die zuletzt sich berührenden Theilchen zum Glühen kommen und äußerst feine Partikeln von der Oberfläche der Lichtkohlen losgerissen werden. Die solchergestalt fortgerissenen Theilchen *m* (Fig. 327) sind + elektrisch und werden von der (—) Kohle angezogen. Sie nehmen infolge abstoßender und anziehender Wirkung der gleichen oder entgegengesetzten Elektricitäten eine krummlinige Bahn an und neutralisieren sich an der (—) Kohle, wo sie sich ablagern. Es stellen sonach die losgerissenen Kohlentheilchen eine leitende Verbindung her, durch welche der Strom von der (+) Kohlenelektrode zur (—) übergeht.

Fig. 327.

V_1 m V_2

Wegen des großen Widerstandes, welchen diese Leitung besitzt, kommen aber die Theilchen in ein lebhaftes Glühen und verbrennen. Man kann nun durch vorsichtige Längsbewegung der beiden Elektroden, diese eine gewisse Strecke von einander entfernen (Lichtbogenlänge), ohne dass die leitende Verbindung unterbrochen zu werden braucht, u. zw. umso weiter, je leichter von den Elektroden die kleinsten Theilchen losgerissen werden, welche die Leitung vermitteln.

Entfernt man die Elektroden aber zu weit von einander, so wird die Anziehungskraft der (—) Kohle nicht mehr genügen, und es werden immer weniger Kohlentheilchen die negative Kohle erreichen, der Strom wird unterbrochen, der Lichtbogen erlischt. Mit dem Unterbrechen des Stromes hört auch die Wärmeentwicklung auf. Um den Lichtbogen wieder herzustellen, muss man die Lichtkohlen wieder mit einander in Berührung bringen.

Es folgt aus Vorhergehendem, dass die Unterhaltung des Bogenlichtes nur durch einen Substanzverlust möglich ist, welcher einerseits durch das Wegreißen, anderseits durch das Verbrennen der Kohlentheilchen verursacht wird.

2. Eigenschaften des Lichtbogens.

Da der elektrische Lichtbogen sich als einen geschlossenen Stromkreis darstellt, kommen die für einen solchen Stromkreis maßgebenden Factoren (Widerstand, Stromstärke, Spannung) auch für den Lichtbogen in Betracht zu ziehen. Bemerkt sei jedoch gleich einleitend, dass entsprechend der Natur des zu seiner Erzeugung verwendeten elektrischen Stromes die Erscheinungsformen verschieden sind.

a) Der Widerstand. Als solcher wird das Verhältnis der Spannungsdifferenz der beiden Kohlen zur Stromstärke $w = \frac{e}{i}$ bezeichnet. Beim Lichtbogen bezeichnet man diesen Widerstand als „scheinbaren“, u. zw. deshalb, weil es noch ungewiss ist, ob in dem elektrischen Lichtbogen eine elektromotorische Gegenkraft enthalten ist oder nicht, und weil der Widerstand nicht mehr dieselben physikalischen Eigenschaften besitzt, wie jener beim metallischen Leiter ohne elektromotorischer Kraft. Der scheinbare Widerstand hängt nun von der Stromstärke und von der Lichtbogenlänge ab. Über die Größe des Widerstandes im Bogenlichte sind verschiedene Beobachtungen gemacht worden, welche aber erheblich von einander abweichen. Da der Lichtbogen von zwei Variabeln abhängt, so ist das Gesetz für denselben unmittelbar aufzufinden sehr mühsam.

Versuche, welche in dieser Hinsicht von Edlund, Lang, Fröhlich etc. vorgenommen worden sind, haben zu den Annahmen geführt, dass α) im Lichtbogen eine „elektromotorische Gegenkraft“ vorhanden ist, die dem Hauptstrome entgegenwirkt und dadurch jene große Potentialdifferenz erzeugt, welche zwischen den Kohlenelektroden vorhanden ist, oder β) dass durch die Herstellung des Lichtbogens ein Übergangswiderstand, wie beim Übertreten der Elektricität aus einem festen Leiter in die Luft, auftritt.

Für die erstere Annahme spricht die Verschiedenheit der Erscheinungen bei den Kohlenspitzen und die Thatsache, dass zur Bildung des Lichtbogens ein gewisses Minimum der Spannung, z. B. 36 Volt bei Kohlenelektroden, vor-

handen sein muss; für letztere die Größe des mittels der anderen Annahme gefundenen Wertes der Polarisation, welche ungefähr zehnmal so groß ist, wie alle bekannten Polarisationen.

Edlund und Lang haben weiters gefunden, dass, sobald die Stromstärke eine gewisse Grenze erreicht hat, die elektromotorische Gegenkraft unabhängig von der Stromstärke und von der elektromotorischen Kraft des zur Erzeugung des Lichtbogens verwendeten Stromes ist, dagegen nur abhängig von der Natur der Spitzen, zwischen welchen der Lichtbogen entsteht.

Man kann den Lichtbogen für verschiedene Stromstärken (3 bis 200 und mehr Ampère) herstellen; dagegen hält sich die Spannung beim Gleichstrom-Bogenlichte immer zwischen 45 bis 55 Volt, beim Wechselstrom-Bogenlichte zwischen 26 und 32 Volt. Sie ist klein (26 Volt), wenn man den Lichtbogen zwischen Kupfer-, und größer (39 Volt), wenn man ihn zwischen Kohlenelektroden bildet. Bei zischendem Lichtbogen, oder bei einer Abkühlung und Erwärmung der Lichtkohlen variiert die Spannung ebenfalls.

Die Versuche von Fröhlich und Peukert haben ergeben, dass man die Abhängigkeit des Widerstandes von der Lichtbogenlänge durch die Formel $w = a + b L$ ausdrücken kann, in welcher a, b zwei Constante, L die Lichtbogenlänge bedeutet.

b) Die Spannung oder elektromotorische Kraft des Lichtbogens. Dieselbe ist, wie zuvor angeführt wurde, im elektrischen Lichtbogen nahezu constant oder schwankt innerhalb sehr geringer Grenzen; z. B. beim Gleichstrom für Kohlenelektroden bei 2 bis 10*mm* Lichtbogenlänge zwischen 40 bis 50 Volt. Diese Constanz hat man nun in neuerer Zeit, außer durch die schon oben genannten Gründe des Vorhandenseins elektromotorischer Gegenkraft und des Übergangswiderstandes, noch durch das Vorhandensein discontinuierlicher Entladungen und räumlicher Ausbreitung zu erklären versucht, ohne jedoch bestimmt sagen zu können, was eigentlich das Richtige ist.

Bezüglich des Zusammenhanges der Spannung im Lichtbogen mit der Lichtbogenlänge wurden verschiedene Versuche (von Fröhlich) angestellt, welche die empirisch aufgestellte Relation $e = a_1 + b_1 L$ ergaben, wobei a_1, b_1 wieder Constante, L die Lichtbogenlänge bedeuten [1]).

---

[1]) Fröhlich hat weiters gefunden, dass bei gleicher Bogenlänge und gleicher Spannung, der Widerstand bei zunehmender Stromstärke abnimmt und dass der Querschnitt des Lichtbogens proportional der Stromstärke ist.

Fernere Versuche von Nebel haben ergeben, dass bei gleichen Kohlenquerschnitten und constanter Lichtbogenlänge, die Spannung mit der Stromstärke zuerst stark sinkt, ein Minimum erreicht und sodann wieder zunimmt. Jedoch tritt dieses Minimum erst bei größerer Stromstärke auf.

Bei ungleichen Kohlenquerschnitten und constanter Bogenlänge, sowie constanter Stromstärke nimmt die Spannung ab, je größer der Querschnitt ist und umgekehrt. Die Spannung für dickere Kohlen ist immer kleiner, wie jene für dünnere.

Über den Potentialverlauf im Inneren des Lichtbogens fanden ebenfalls verschiedene Versuche statt, die ergaben, dass man für den Spannungsverlust innerhalb der Gasstrecke des Lichtbogens pro 1*mm* Bogenlänge etwa 2·24 Volt rechnen kann. (Uppenborn.) Lecher fand, dass das Potentiale bei Kohlenelektroden einen doppelten Sprung mache, u. zw. von der (+) Kohle zur Mitte 36 Volt, von der (−) Kohle zur Mitte 10 Volt, während bei den Metallelektroden diese einseitige Potentialdifferenz nicht vorhanden ist.

Die Spannungszunahme ist mit wachsender Bogenlänge sonach eine gleichmäßige. Wird die Spannung in Volt, die Bogenlänge in *mm* gemessen, so ist für Kohlenelektroden $e = 39$ Volt $+ 1{\cdot}8 mm\, L$.

Im allgemeinen resultiert aus allen über den Lichtbogen gemachten Versuchen, dass die Spannung im elektrischen Lichtbogen mit der Lichtbogenlänge nur sehr wenig zunimmt, die Lichtbogenlänge überhaupt eine begrenzte ist.

Beispielsweise braucht beim Gleichstrom das Bogenlicht

von	1 Ampère	32 Volt	Spannung,		von	20 Ampère	45 Volt	Spannung,
„	3 „	35 „	„		„	40 „	47 „	„
„	6 „	38 „	„		„	60 „	48 „	„
„	8 „	40 „	„		„	80 „	50 „	„
„	12 „	43 „	„		„	120 „	55 „	„

u. s. w.

Beeinflussend für die Potentialdifferenz der Elektroden ist die Natur der Elektroden, und es scheint, dass die Spannung mit dem Schmelzpunkt des Elektrodenmaterials übereinstimmt. Auch eine Erwärmung und Abkühlung der Lichtkohlen vermögen die Spannung im Lichtbogen ziemlich bedeutend zu ändern.

Beim Wechselstrome ist die Spannung um 20 bis 30% geringer als jene beim Gleichstrome. Während letztere, wie zuvor gesehen, z. B. beim Gleichstrome für eine 10 Ampère-Lampe 43 Volt beträgt, braucht ein Wechselstromlicht nur 32 Volt.

c) Die Stromstärke muss stets so groß sein, dass die Lichtkohlen in Weißgluth versetzt werden können. Die Stromstärke kann eine verschiedene sein und hängt ab: α) von der Wahl des Elektrodenmaterials und β) vom Querschnitte desselben. Die bezüglich α) angestellten Versuche haben sehr differierende Resultate ergeben, welche theils auf chemische, theils auf physikalische Unterschiede des Elektrodenmaterials beruhen. Bei gegebenem Materiale hat die nothwendige Stromstärke eine gewisse Größe, bei welcher der Lichtbogen am schönsten brennt und der optische Effect am größten ist.

Bei gleichem Materiale und constanter Spannung nimmt die Stromstärke bei Zunahme der Lichtbogenlänge ab, und umgekehrt.

d) Arbeitsleistung im Lichtbogen. Nach dem Joule'schen Gesetze ist die im Lichtbogen geleistete Arbeit $A = e\,i = (a + b\,L)\,i$.

Die Arbeit ist also bei gegebener Bogenlänge durch die Stromstärke bestimmt.

Der größte Theil dieser Arbeit wird in Wärme und Licht verwandelt, während der kleinere zur mechanischen Zersplitterung der Kohlentheilchen benützt wird. Dazu kommt noch die Verbrennung, welche ebenfalls Licht und Wärme erzeugt. Will man also ein elektrisches Licht von großer Intensität erzeugen, so braucht man bedeutende Mengen von Elektricität, welche sich infolge des Widerstandes, den die Luftschichten dem Durchgange der Elektricität entgegensetzen, in Wärme umsetzen und die Kohle verdampfen lassen.

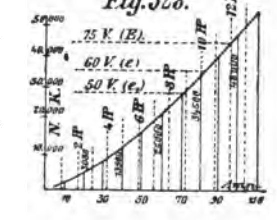
Verkleinert man die Luftschichte zwischen den beiden Elektroden, so wird der Widerstand kleiner und man braucht geringere Stromspannungen zur Überwindung des Luftwiderstandes. Vermehrt man daher die Spannung bei Quantitäts- (d. h. Stromstärke-)Verminderung, so gewinnt der elektrische Strom die Fähigkeit mehr Licht zu erzeugen. Ist der Kohlenabstand gleich Null

(Kurzschluss des Bogens), so wird das elektrische Licht nur durch die Weißgluth der Lichtkohlen erzeugt und es erfordern solche schlechte Lichter eine große Betriebskraft.

Immer soll jedoch aus ökonomischen Gründen das Maximum an Lichtstärke dem Minimum an Kraftaufwand entsprechen.

Die nebenstehende (Fig. 328) zeigt den Zusammenhang zwischen der Lichtstärke und der diese bedingenden elektrischen, bezw. motorischen Größen.

e) Länge des Lichtbogens. Dieselbe wird durch die Erfahrung bestimmt und hängt von der Stromstärke und Umgebung des Lichtbogens ab.



Sie ist verschieden bei verschiedener Stromstärke. Gewöhnlich nimmt man als „normale" Lichtbogenlänge annähernd die Hälfte jener Distanz an, bei welcher der Lichtbogen erlischt. Die günstigste Lichtbogenlänge ist jene, wo der Lichtbogen am ruhigsten brennt.

f) Abhängigkeit des Lichtbogens von der Natur der Elektroden. Je leichter flüchtig oder verbrennbar ein Elektrodenmaterial ist, desto länger kann der Lichtbogen gemacht werden. Man hat beobachtet, dass die Lichtbogenlänge beim Platin am kleinsten, länger beim Zink und am längsten bei einer Kohle ist, die mit leicht flüchtigen Salzen getränkt wird. Im luftleeren Raume oder im Stickstoff verliert der Lichtbogen an Größe. Untersucht man die Elektroden, so sieht man, dass die positive Elektrode meist abgenommen, sich kraterförmig ausgehöhlt (Fig. 326), die negative aber sogar zugenommen hat. Es folgt daraus, dass ein Transport der Theilchen, welche sich von der positiven Kohle losgerissen, zur negativen Kohle stattgefunden hat. Beim Wechselstrome tritt alternierend ein Polwechsel auf und die Kraterflächen werden sich an den Enden anders gestalten, wie beim Gleichstrome.

Versuche, welche über die Beeinflussung durch die Natur der Elektroden ausgeführt worden sind (z. B. zwischen leicht und schwer flüchtigen Elektroden), haben den wesentlichen Einfluss der Natur der Elektroden auf den Lichtbogen constatieren lassen.

g) Die Temperatur der Elektroden ist im Lichtbogen eine sehr hohe. Beweis, dass die schwerst schmelzbaren Metalle in demselben sich verflüchtigen. Deprez hat gefunden, dass die Kohlenspitzen im luftleeren Raume verdampfen. Eisenstücke können mittels des elektrischen Lichtbogens aneinander geschweißt werden.

Rosetti hat die Temperatursdifferenzen der Elektroden untersucht und gefunden, dass die Temperatur der (+) Kohle 2.500 bis 2.900° beträgt und höher, wie jene der (—) Kohle (2.100 bis 2.500°) ist. Die positive Kohle ist bei der Lichtbogenbildung bereits weiß glühend, während die negative noch roth glüht, und wenn letztere nach dem Erlöschen des Lichtbogens schon dunkel ist, glüht erstere noch. Infolge dieser hohen Temperatur bildet der Lichtbogen eine Gefahr[1]) für die Umgebung und man muss bei Anwendung

[1]) Schließungs- und Öffnungsfunken geben wegen den entwickelten hohen Temperaturen immer Ausbrennungen.

von Bogenlicht die Stromkreise, um Ausbrennungen zu vermeiden, möglichst schnell schließen und ebenso unterbrechen.

Siemens hat weiters gefunden, dass bei gleicher Lichtstärke das elektrische Licht gegenüber anderen Lichtquellen, nur 1% der Wärme dieser Lichtquellen hervorbringt.

h) Abhängigkeit des elektrischen Lichtes von der Umgebung. Im luftleeren Raume ist der Lichtbogen bedeutend größer. Ebenso hat die Beschaffenheit der Luft Einfluss auf den Lichtbogen.

Namentlich die Feuchtigkeit, sowie eine Abkühlung der Kohlen wirken schwächend ein. Verbrennbare Beimengungen der Luft (z. B. Tabakrauch etc.) bewirken eine Vergrößerung des Lichtbogens infolge lebhafter Verbrennung.

3. Die Intensität der Lichtentwicklung

hängt von der Lichtemission und diese wieder von der Stromstärke, Lichtbogenlänge, Durchmesser und Beschaffenheit der Lichtkohlen, deren Stellung u. s. w. ab. Die Lichtemission (Lichtausstrahlung) ist im elektrischen Bogenlichte eine ungleichmäßige, u. zw. verschieden beim Gleich-, und beim Wechselstrom-Bogenlichte.

Hefner-Alteneck hat zuerst Versuche über die Leuchtkraft des Bogenlichtes gemacht und hat, wie das nebenstehende Diagramm (Fig. 329) zeigt, gefunden, dass die Lichtintensität des von einer Gleichstromlampe ausgehenden Lichtes bei vertical übereinander stehenden Lichtkohlen nach oben geringer, nach unten, u. zw. in einer etwa 40 bis 50° unter der Horizontalen fallenden Richtung *oe* am größten ist.

Fig. 329.

Um diese Ungleichförmigkeit des Lichtes für geschlossene Räume, sowie um die grellen Schatten zu beheben, umgibt man für gewöhnlich das elektrische Licht mit Glaskugeln aus Milch- oder Alabasterglas, was aber einen Lichtverlust von 15 bis 30% bedingt.

Die Lichtintensität hängt nun von der Spannung, Stromstärke, Lichtbogenlänge, dann von der Stärke und Beschaffenheit der Kohlenstäbe ab. Die Lichtemissions - Diagramme ändern sich mit der Stromstärke bei nahezu gleichbleibender Spannung (Fig. 330) oder mit der Spannung bei gleichbleibender Stromstärke (Fig. 331). Im letzteren Falle rückt bei größerer Spannung die Strahlung (siehe die Curven I bis V) immer mehr nach unten. Da durch die negative Lichtkohle ein Theil der von der positiven Lichtkohle ausgehenden Lichtmenge abgeblendet wird, ist es zweckmäßig, möglichst große Lichtbogenlängen zu nehmen und anderseits den Querschnitt der unteren Kohle zu vermindern. Beim Gleichstrom-Bogenlichte wählt man den Kohlenquerschnitt der

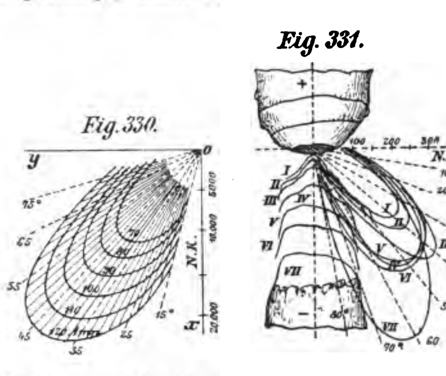


Fig. 330. *Fig. 331.*

negativen Lichtkohle etwa $^2/_3$ so groß als jenen der oberen Lichtkohle, während beim Wechselstrom-Bogenlichte beide Lichtkohlen gleich dimensioniert sind.

In Bezug auf die Stellung der Lichtkohlen zu einander stellt man für die Raumbeleuchtung die Kohlen vertical übereinander, u. zw. so, dass der Strom von der positiven oberen Lichtkohle zur negativen unteren geht. Die entgegengesetzte Stellung ist ungünstiger, da die Lichtintensität um etwa $^1/_3$ abnimmt und die Lichtbogenlänge kleiner wird.

Bei horizontalem Lichtbogen (Fig. 342) ist die Lichtbogenlänge ebenfalls etwas kleiner als bei verticaler Stellung der Kohlen. Will man, wie bei den Projectionsapparaten, die größte Lichtwirkung in einer bestimmten Richtung (z. B. auf einen Spiegel *M* oder *K*, Fig. 332) erzielen, so muss man die Lichtkohlen neigen.

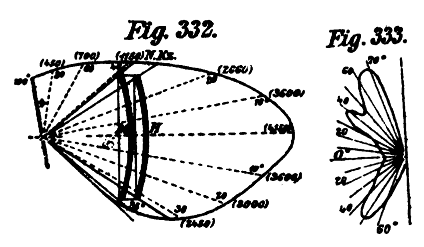


Fig. 332. Fig. 333.

Beim Wechselstromlichte ist das Lichtdiagramm, wie die Fig. 333 zeigt, etwas abweichend von jenem für Gleichstrom; hier sind zwei Kegelflächen stärkster Lichtausstrahlung vorhanden. Man bekommt eine etwas ungünstigere Lichtentwicklung, da die Beleuchtung nach aufwärts etwas größer als nach abwärts ist. Das obere und untere Lichtmaximum fällt unter etwa 30° zur Verticalen. Die Stellung der Lichtkohlen zu einander ist hier gleichgiltig.

Die mittlere Raumhelligkeit verhält sich beim Gleich-, zum Wechselstrom-Bogenlichte wie 4 : 5, — gleiche Energiemenge vorausgesetzt.

Diese Minderleistung des Wechselstromlichtes wird jedoch dadurch ausgeglichen, dass die Spannung an den Lichtkohlen eine geringere (um 20 bis 30%) als jene beim Gleichstrom-Bogenlichte ist; man kann z. B. bei 100 Volt Maschinenklemmenspannung drei Wechselstromlampen hintereinander schalten, was mit Gleichstromlampen nicht zu erreichen ist.

Grundbedingung für eine rationelle Lichterzeugung ist das Constanthalten der entsprechenden Stromstärke und Spannung bei demselben Elektrodenmaterial. Da auf jeden *mm* Lichtbogenlänge rund nur 2 Volt Spannung entfallen, ist es einleuchtend, dass die das Bogenlicht erzeugenden Lampen genau und richtig regulieren müssen, um einen constanten Lichtbogen und damit ein intensives und gleichförmiges Licht zu liefern.

Beim Wechselstrome muss dieser eine genügende Anzahl Wechsel besitzen, damit kein flimmerndes, sondern ein ruhiges Licht erzeugt wird. Als Grenze hiefür gilt eine Wechselzahl von 40 Perioden oder 80 Wechsel pro Secunde.

4. Die Lichtkohlen.

Von diesen zur Lichtbogenbildung dienenden Mitteln gibt es verschiedene Arten, u. zw.:

a) je nach dem bei der Erzeugung der Lichtkohlen verwendeten Materiale, dann nach der Erzeugungsart und Ausstattung der Lichtkohlen;

b) nach der Größe, und

c) nach der Bestimmung der Lichtkohlen.

Im nachfolgenden sollen nun diese vorstehenden, auf die Erreichung eines möglichst entsprechenden Kohlenmaterials bezughabenden Momente etwas näher erörtert werden.

ad *a*) Für das Elektrodenmaterial wird eine hohe Verflüchtigungstemperatur, ein großes Ausstrahlungsvermögen und eine geringe Wärmeleitungsfähigkeit gefordert, um mit wenig Arbeit viel Licht zu erzeugen. Am besten eignet sich hiezu die Kohle, u. zw. je reiner, härter und dichter sie ist. Die Beimengungen verschiedener leichter oder schwerer flüchtiger Stoffe, wie Alkalien oder Silicate, beeinträchtigen den Lichteffect des Lichtbogens.

In früherer Zeit hat man meist reine Gaskohle zur Erzeugung von Lichtkohlen verwendet, welche aber keine gleichmäßigen Kohlenstifte zu liefern imstande war. Gegenwärtig werden im allgemeinen nur sogenannte „Kunstkohlen" erzeugt, wo das für die Lichtkohlen verwendete Rohmaterial aus verschiedenen Bestandtheilen (Retortenkohle, Kienruß, Graphit) zusammengemengt wird.

Die Erzeugung der Lichtkohlen selbst ist eine verschiedene, u. zw. je nachdem man Lichtkohlen für Schräglampen oder für Horizontallampen in Betracht zieht. Sie ist auch je nach dem Materiale, welches die betreffende Erzeugung gewählt hat, eine unterschiedliche. Die Lichtkohlen können entweder mit vollem oder hohlem Querschnitte erzeugt werden.

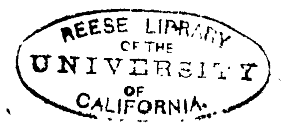
Erstere Gattung nennt man „Homogenkohlen", während letztere „Dochtkohlen" genannt werden, da sie im Innern mit einer Seele aus einer weichen Kohlenmasse ausgestattet werden. Homogenkohlen werden bei kleinen Stromstärken angewendet, während die Anwendung von Dochtkohlen, insbesonders bei größeren Stromstärken (von 30 Ampère aufwärts), eine fast allgemeine geworden ist.

Im nachfolgenden sei hinsichtlich der Art des Erzeugungsvorganges, beispielsweise die Erzeugung der Lichtkohlen nach der Fabrikationsweise der Firma Schmelzer & Cie. in Nürnberg kurz angedeutet, welche ein sehr gutes Lichtkohlenmaterial liefert.

Das Rohmaterial ist bei Schmelzer & Cie. in der Hauptsache sogenannter Retortengraphit, wie er bei der Bereitung von Steinkohlengas im Innern der Retorten sich ansetzt. Dieser, oft bis 99% reinen Kohlenstoff enthaltende Graphit wird nach sorgfältiger Reinigung von allen fremden Bestandtheilen auf Läufermühlen zu möglichster Feinheit (mehlähnlichem Staube) vermahlen. Das so erhaltene Kohlenpulver gibt mit Ruß und einem Bindemittel (Theer), in möglichst inniger Weise in Mischtrommeln vermengt, die zur Lichtkohlenfabrikation bereitete Masse, welche zunächst in feste Form gebracht wird, um die Kohlentheilchen von der anhaftenden Luft zu befreien.

Die geformte Masse kommt sodann in Presscylinder, um mit einem der Qualität der Kohle entsprechenden Druck, welcher zwischen 1.000 und 1.500 Atmosphären variiert, in cylindrische oder viereckige Stücke gepresst zu werden.

Je nachdem nun Docht- oder Homogenkohlen erzeugt werden sollen, wird der Kohlenstift entweder aus einer Masse voll gepresst, oder bei ersteren die Masse beim Ausgange aus dem Mundstücke der Presse über einen Dorn geführt, wodurch das zur Aufnahme der Seele der Dochtkohlen dienende Loch entsteht. Die Kohlenstäbe werden sodann in gleichen Längen je nach Bedarf



geschnitten und zu Bündeln gebunden. Diese Bündel, welche nunmehr gebrannt werden sollen, kommen in die Mitte eines etwa 1*m* langen Thontiegels, wobei der Leerraum durch Kohlenpulver luftdicht abgeschlossen, die Tiegel aber selbst mit einem Deckel bedeckt werden. Dergestalt in den Brennofen gebracht, werden die Kohlenstäbe successive durch das über die Tiegel hinweggeführte Feuer von allen flüchtigen Stoffen befreit. Zu diesem Zwecke ist die höchste Weißgluth von etwa 2.000° C. nothwendig, und wird dieselbe durch eine Gas-Regenerativfeuerung erzielt. Nach dem Brennen werden die Homogenkohlen nur noch zugespitzt, um zur Verwendung gelangen zu können. Die Dochtkohlen, welche mit einem durchgehenden Loch versehen sind, werden in ihrem Hohlraume mit Graphitpulver und mit einer Beimischung von kieseligen Stoffen (Wasserglas) ausgefüllt und sind, nachdem sie getrocknet und zugespitzt worden, jetzt ebenfalls zum Gebrauche fertig.

(Es ist selbstverständlich, dass manchmal Kohlen noch ein- oder zweimal, u. zw. des gleichmäßigen Brandes wegen, in den Ofen gestellt werden müssen.)

Schmelzer & Cie. verkupfern behufs besserer Stromleitung bei den stärkeren Lichtkohlen den inneren Hohlraum der Dochtkohlen.

Die Dochtkohlen haben den Vortheil, dass infolge des minder dichteren und leichter brennbaren Dochtes das Licht günstiger fixiert wird, als wie bei den Homogenkohlen. Der Lichtbogen zieht sich bei den Dochtkohlen stets mehr gegen den Docht, der Lichtbogen ist also mehr centriert, während bei den Homogenkohlen der Lichtbogen, namentlich bei nicht gleichmäßiger Dichte der Kohlen auf der Mantelfläche, sehr oft hin- und herwandert und hiedurch ein unruhiges Licht erzeugt (tanzt).

Der Dochtquerschnitt der Lichtkohlen ist verschieden, u. zw. je nachdem man es mit Kohlen für Schräg- oder Horizontallampen zu thun hat; im ersteren Falle hat er einen kleinen Durchmesser (etwa $^1/_4$ bis $^1/_6$ des ganzen Durchmessers der Lichtkohle), während im letzteren Falle derselbe größer (etwa $^1/_3$ des ganzen Durchmessers) ist. Der gute Zustand des Dochtes ist sehr maßgebend für ein gutes, ruhig brennendes Licht.

Um Lichtkohlen besser leitend zu machen und den Verbrauch der Kohlen an der Außenfläche gleichmäßiger zu gestalten, m e t a l l i s i e r t (platiert) man sie oft an ihren Oberflächen, u. zw. durch galvanische Niederschläge von Kupfer. Man nennt derartige Kohlenstäbe „g e p a n z e r t e“, zum Unterschiede von den nicht überzogenen n a c k t e n oder graphitierten Lichtkohlen.

Man hat neuerer Zeit die äußere Metallisierung wieder fallen gelassen, da sie infolge erleichterter Wärmeabgabe der Lichtkohle den für die Lichtbildung erforderlichen Energieaufwand unnöthig vermehrt und den Lichteffect nicht erhöht.

ad *b*) Hinsichtlich der D i m e n s i o n e n der Lichtkohlen ist zu bemerken, dass diese abhängig sind, u. zw.:

In der Länge: von dem Kohlenabbrande und von der Art der Lampeneinrichtung, in dem Querschnitte: von dem Lichtkohlenmateriale und der Strombelastung. Der Abbrand der Lichtkohlen ist bei dem verschiedenen Lichtkohlenmateriale ein verschiedener, da weiche und dünne Lichtkohlen immer schneller sich abnützen werden, als harte und dicke. Bei gleichen Querschnittsdimensionen der positiven und negativen Lichtkohle brennt die positive Kohle fast doppelt so schnell, wie die negative Kohle ab.

Ist für eine bestimmte Stromstärke ein Kohlenquerschnitt praktisch ermittelt worden, so wird die Länge der Lichtkohlen für das praktische Bedürfnis nach Brennversuchen jeweilig festgesetzt. In dieser Hinsicht ist jedoch ein Unterschied zu machen zwischen den Lichtkohlen, welche für die Raumbeleuchtung dienen, und jenen zur Projectionsbeleuchtung. Die Brenndauer einer Lichtkohle schwankt zwischen drei bis acht Stunden.

Bezüglich des richtigen Querschnittes der Lichtkohlen zeigt die Erfahrung, dass die Lichtemission des Bogenlichtes bei demselben Lichtkohlenmateriale und bei gleicher Stromstärke und Spannung an den Kohlenstäben mit der Strombelastung, d. i. mit der Anzahl Ampère pro mm^2 Kohlenquerschnitt, variiert.

Dies geht z. B. aus den beigefügten Emissionsdiagrammen, Fig. 335 [1]) hervor, die bei Anwendung einer Stromstärke von 6·29 Ampère und einer nahezu constanten elektrischen Spannung von 43·2 bis 43·9 Volt, dann unter Zugrundelegung der in Fig. 334 angedeuteten Kohlenquerschnitte construiert worden sind.

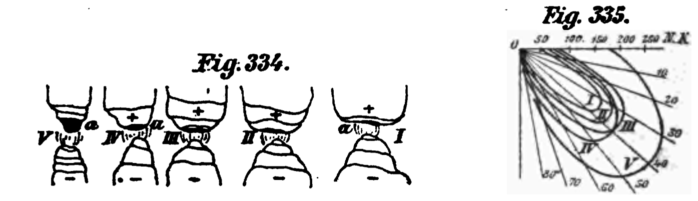


Fig. 334. Fig. 335.

Es zeigt sich hiebei, dass, je größer die Kohlenstärken bei einer gegebenen Stromstärke sind, desto kleiner die Lichtemission und die mittleren hemisphärischen Lichtintensitäten werden, was erklärlich ist, da zur größeren Beanspruchung stets der kleinere Querschnitt gehört. Da die positiven Lichtkohlen im Abbrande umso spitzer werden, je größer die Stromstärke gegenüber dem Kohlenquerschnitte wächst, so werden bei dünneren Lichtkohlen mit höherer Strombelastung die einzelnen Partikelchen in höhere Weißgluth versetzt als bei stärkeren Kohlen, und es kann bei sehr dünnen Kohlen vorkommen, dass nicht mehr das Kohlenende allein, sondern die Lichtkohle auf die ganze Länge erglüht. Normal soll die Strombelastung derart begrenzt sein, dass nur die reine Querschnittsfläche des Kraters der positiven Lichtkohle erglüht.

Betrachtet man die zu obigen Versuchen zugehörigen Lichtkohlenbilder, I bis V in Fig. 335, so sieht man, dass bei stärkeren Kohlen die Glühzone (*a*, Fig. 334) immer flacher wird, und dass bei großen Kohlenquerschnitten nicht mehr die ganze Querschnittsfläche, sondern nur ein Theil derselben beansprucht, bezw. zum Erglühen gebracht wird. Mit abnehmender Beanspruchung brennt die positive Kohle immer flacher und bei zu starken Kohlen wird gerade der, der Spitze der negativen Lichtkohle gegenüber liegende Kern glühend werden. Der Strom concentriert sich bei egalem Materiale gewissermaßen in der Mitte, während der äußere Rand der Lichtkohle nicht zum Glühen kommt. Es findet ein „Hineinbrennen“ des Lichtbogens statt.

---

[1]) Centralblatt für Elektrotechnik, IX. Band.



Aus der Fig. 334 ist zu ersehen, dass, während die Oberflächenbildung bei der positiven Kohle von der Strombelastung abhängt, die negative Lichtkohle stark durch die Bogenlänge beeinflusst wird. Die Figuren zeigen, dass die negative Lichtkohle immer flacher wird, je höher die Spannung steigt.

Die Oberflächenbildung ist aber von großer Wichtigkeit für die gesammte Lichtausstrahlung im elektrischen Lichtbogen, insbesondere aber dann, wenn man es mit Projectionslicht zu thun hat, wo es sich darum handelt, möglichst viel Licht von den Kohlenspitzen zu erlangen.

Die günstigste Strombelastung ist weiters außer durch den Querschnitt auch durch das Lichtkohlenmaterial stark beeinflusst.

Ein stärkeres Material mit geringerem, elektrischen Leitungswiderstande wird bei gleichem Licht- und elektrischem Effecte stets kleinere Querschnittsdimensionen zulassen, als ein weicheres Material, — was an den Kraterflächen leicht erkenntlich ist, wenn man gleich dimensionierte Lichtkohlen verschiedener Härte comparativ versucht. Man wird beim Vergleiche von Kohlen verschiedener Fabrikation und gleichem Querschnitte finden, dass den elektrischen Bedingungen oft ganz auffallend verschiedene Resultate in Bezug auf die Lichtintensität (15 bis 30% Variation) entsprechen.

Am zweckmäßigsten ist es, bei der großen Zahl der beeinflussenden Momente sich hinsichtlich entsprechender Auswahl von Lichtkohlen durch eigene Brennversuche von der Güte der Lichtkohlen zu überzeugen, wobei allerdings die jeder Firma eigenen Erfahrungsdaten mit zugrunde zu legen sind.

Schließlich wäre hinsichtlich des Leitungswiderstandes von Lichtkohlen noch zu erwähnen, dass dieser sehr oft von den Fabrikanten als Maßstab der Güte ihres Fabrikates benützt wird. Harte Kohlen haben immer ein größeres specifisches Leitungsvermögen oder einen kleineren Leitungswiderstand als weiche, bei sonst gleichen Umständen. Da sich nun aber die Leitungsfähigkeit mit dem Durchmesser verringern lässt, so braucht man für dieselbe Leitungsfähigkeit, wie bei weichen Kohlenstäben, nur den Querschnitt der harten Lichtkohlen zu verringern. Im Mittel rechnet man für Homogenkohlen einen specifischen Widerstand von 62, für Dochtkohlen von 69.

Lichtkohlen verschiedener Provenienz und ungleichen Materials durch Widerstandsmessungen vergleichen zu wollen, wie dies mehrfach versucht worden, gibt keinen genauen Aufschluss über die Güte der Lichtkohlen untereinander.

5. Anforderungen für ein gutes Lichtkohlenmaterial.

Gleichgiltig nun, welche Form und Größe die Lichtkohlen besitzen, so müssen sie folgenden Grundbedingungen entsprechen, u. zw.:

Gleichmäßige Kraterbildung, Erzielung eines ruhig brennenden Lichtes und nach Zulässigkeit, einen ökonomischen Verbrauch bei Lieferung größtmöglichster Lichtintensität. Die richtige Bildung der Kraterfläche ist, wie früher erwähnt, von wesentlichem Einfluss, da die Lichtausnützung eine wesentlich ungünstige wird. Deswegen sind auch Lichtkohlen, welche ein seitliches Ausbrennen oder ein schiefes Abbrennen gestatten, ferner solche, welche Klüfte und Risse zeigen, oder bei denen der Docht ganz oder theilweise fehlt und damit zu ungünstiger Kraterbildung Anlass gibt, immer als fehlerhafte zu

bezeichnen. Maßgebend für eine gleichmäßige Kraterbildung ist aber nebst der Materialgüte noch die Stellung der Lichtkohlen zu einander. Bei axialer Stellung der Kohlen und richtiger Lichtbogenlänge ist der elektrische Lichtbogen viel leichter gleichmäßig brennend zu erhalten, als bei versetzten Kohlen.

Bei horizontal gestellten Lichtkohlen ist es infolge des, durch die aufsteigenden Gase leicht bewirkten, schiefen Abbrandes der positiven Lichtkohle stets nothwendig, den Lichtbogen durch Anwendung eines Magnetisierungsringes zu centrieren, d. h. ihn mehr gegen die Mitte zu ziehen.

Gute Lichtkohlen wird man bei einiger Erfahrung oft schon an dem äußeren Beschau, insbesondere der Außen- und Bruchflächen, ferner am Klange beim Aufschlagen der Lichtkohlen an einer Unterlage erkennen, welcher Klang immer hell sein soll. Dies gilt natürlich mehr für nackte, als für platierte Lichtkohlen, die einen etwas dumpferen Ton geben.

Im Abbrande machen sich schlechte Lichtkohlen durch einen unruhigen, zischenden, oft tanzenden Lichtbogen bemerkbar. Manchmal treten infolge Vorhandenseins fremder Beimengungen (Silicate) in den Kohlen Pilze, dann Hüte, Zäpfchen (z. B. letztere meist bei zu kurzem Lichtbogen, wo ein Hineinbrennen der Kohlen stattfindet), ferner Loch- und Rissbildungen an der Mantelfläche von schlechten Lichtkohlen auf, die gleichfalls den Lichtbogenbetrieb ungünstig beeinflussen.

Sollen Lichtkohlen längere Zeit deponiert bleiben, so muss der Deponierung ein besonderes Augenmerk zugewendet werden, da Lichtkohlen bei Feuchtigkeit sehr stark leiden (verschimmeln) und oft ganz unbrauchbar werden. Es ist stets angezeigt, die Lichtkohlen möglichst lufttrocken und eventuell selbst bei Luftabschluss zu deponieren. Über eine gewisse, durch die Erfahrung bestimmte Zeit hinaus (2, 3 bis 5 Jahre), soll man sie nicht deponieren, da sonst leicht der Docht eintrocknet, rissig wird, oder ganz herausfällt.

Alle zuvor bemerkten Umstände machen sich aber noch mehr bei Lichtkohlen für hohe Stromstärken (100 bis 150 Ampère) als für kleinere geltend, für welch' erstere die Erzeugung der Lichtkohlen einerseits, als auch der Erhalt des Lichtbogens anderseits schon zu vielen Schwierigkeiten führt.

C. Die Bogenlampen.

1. Eintheilung.

Dieselben sind Apparate, in welchen der elektrische Lichtbogen zum Zwecke der Lichterzeugung hervorgerufen wird.

Je nach der Art, wie die Kohlenspitzen in constanter Entfernung von einander gehalten werden, können zweierlei Classen von elektrischen Lampen unterschieden werden, u. zw.:

A. Lampen mit Regulatoren. Bei diesen werden die Kohlen in dem Maße, als sie abbrennen, durch einen Reguliermechanismus einander genähert, und

B. elektrische Kerzen, bei welchen die Kohlen parallel gestellt und von einander durch isolierende Materien getrennt werden.

In der Praxis hat bisher nur die erstere Gattung von Lampen allgemeine Verwendung gefunden und soll daher diese hier auch näher erörtert werden. Die Lampenregulatoren müssen folgenden Bedingungen entsprechen:

a) Die Lichtkohlen müssen vor dem Durchgange des Stromes zuerst zum Contact gebracht werden.

b) Nach der Bildung des Lichtbogens müssen die Kohlen auf normale Lichtbogenlänge entfernt werden. Dies bedingt also Vorrichtungen zum Zusammenschieben und Auseinanderziehen der Lichtkohlen (Lichtbogenbilder).

c) In dem Maße als sie abbrennen, sollen sie wieder auf die normale Lichtbogenlänge einander genähert, bezw. bei einem eventuellen Erlöschen wieder zum Contact gebracht werden. Je nachdem die Regulierung der Lichtkohlenentfernung von Hand aus oder unter dem Einflusse des die Lampe speisenden Stromes bewirkt wird, unterscheidet man:

α) Handregulatoren (Handlampen) und

β) automatische (oder selbstthätig wirkende) Regulatoren.

Die ersteren werden meist bei Einzellichtanlagen, die letzteren dort verwendet, wo mehrere Lampen in den Stromkreis einer Elektricitätsquelle geschaltet werden, also in Theilungslichtanlagen.

Von den automatischen Bogenlampen existieren sowohl für den Gleich-, als auch für den Wechselstrom eine große Anzahl von Constructionen, von welchen sich insbesondere jene mit elektromagnetischen Reguliersystemen am meisten in der Praxis eingebürgert haben.

Bei denselben bestehen die sub *a*) und *b*) angeführten Vorrichtungen aus einem Elektromagnet, auf dessen Anker einer der beiden Kohlenhalter sitzt. Sowie nun beim „Einschalten“ der Strom in die Lampe tritt, wird der Anker angezogen und damit die sich bisher berührenden Kohlen von einander gebracht. Verschwindet beim „Ausschalten“ der Strom, so reißt eine Feder den Anker vom Elektromagnet ab und die Lichtkohlen kommen wieder zur Berührung. Oft wird zum Zusammenbringen der Lichtkohlen eine im Nebenschluss zum Lichtbogen liegende, elektromagnetische Vorrichtung benützt, welche beim Zusammentreffen der Lichtkohlen kurz geschlossen wird; das Auseinanderführen wird dann durch das Gewicht des unteren Kohlenhalters bewirkt.

Ebenso wird das Nachschieben der Lichtkohlen meist durch Elektromagnete vermittelt, welche im Haupt-, oder im Nebenschluss zum Lichtbogen liegen. Der Nachschubmagnet löst hiezu eine Kraft aus, wie z. B. die Schwerkraft der oberen Kohle, activiert ein Räderwerk, oder löst eine Bremsvorrichtung aus u. dgl. m., welche die successive Bewegung des Kohlenhalters vermittelt.

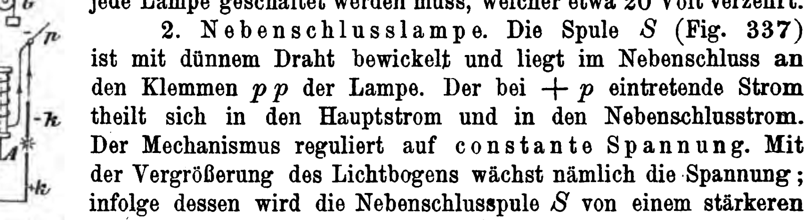
Überdies enthalten die Lampen noch gewisse Hilfsmittel, welche dazu dienen, die vorhandenen Bewegungsvorrichtungen in ihrer Wirkung zu dämpfen, oder die Lampen (bei Serienschaltung) kurz zu schließen, oder aber Lichtkohlen bei langer Brenndauer automatisch auszuwechseln. Um den Lampenmechanismus zu vereinfachen, fixiert man gewöhnlich die negative Kohle, und macht nur die obere, positive Lichtkohle beweglich. Will man aber den Lichtbogen räumlich festhalten, wie dies z. B. für Projectionszwecke nothwendig ist, dann müssen beide Kohlenhalter beweglich gemacht werden.

Je nach der Schaltungsweise der Regulierspulen kann man dreierlei Lampensysteme unterscheiden, deren principielle Einrichtung im nachfolgenden beschrieben wird, u. zw.:

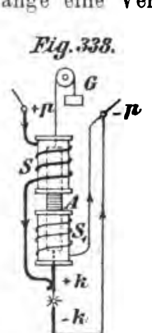
1. Hauptstromlampe. Die Spulen sind mit dickem Draht bewickelt und werden vom Hauptstrom i durchflossen. Der elektromagnetischen Wirkung wird hiebei durch eine andere Kraft, z. B. Feder, Gewicht etc. das Gleichgewicht gehalten. Nach der schematischen Fig. 336 gelangt der Strom von der Klemme $+ p$ zur Spule S, von hier durch eine Contactvorrichtung zum oberen Kohlenhalter k, führt durch den Lichtbogen und über die untere Kohle ($-k$) zur Klemme $-p$. Der obere Kohlenhalter k steht beispielsweise mit einem in die Spule S hineinragenden Eisenkern A in Verbindung, dessen Gewicht theilweise durch das Gegengewicht G ausbalanciert ist. Der Mechanismus reguliert nun auf constante Stromstärke, u. zw. in der Weise, dass, wenn z. B. der Lichtbogen sich verlängert, hiedurch die Stromstärke im Stromkreise sinkt, das Gewicht des Kohlenträgers nunmehr die anziehende Kraft der Spule überwindet und der Kohlenträger k so lange nach abwärts sinkt, bis der Gleichgewichtszustand zwischen anziehender Wirkung der Spule S und dem Gegengewicht G wieder hergestellt ist, d. h. bis infolge Verkleinerung des Lichtbogens die Stromstärke die normale Größe i erreicht hat.

Fig. 336.

Gewöhnlich wird die obere Kohle durch eine Sperrvorrichtung bewegt, welche durch einen Contact ausgelöst wird und dadurch die Bewegung des Kohlenträgers successive bewirken lässt. Diese Lampengattung eignet sich vornehmlich für Einzellichtanlagen und für Hintereinanderschaltung, wobei ein sogenannter „Beruhigungs-(Additional-)Widerstand" hinter jede Lampe geschaltet werden muss, welcher etwa 20 Volt verzehrt.


Fig. 337.

2. Nebenschlusslampe. Die Spule S (Fig. 337) ist mit dünnem Draht bewickelt und liegt im Nebenschluss an den Klemmen $p\,p$ der Lampe. Der bei $+ p$ eintretende Strom theilt sich in den Hauptstrom und in den Nebenschlusstrom. Der Mechanismus reguliert auf constante Spannung. Mit der Vergrößerung des Lichtbogens wächst nämlich die Spannung; infolge dessen wird die Nebenschlusspule S von einem stärkeren Strome durchflossen und zieht den Eisenkern A kräftiger an, wodurch so lange eine Verkleinerung des Lichtbogens eintritt, bis die Spannung auf das normale Maß gesunken ist. Ein specieller, in der Fig. 337 nicht gezeichneter Mechanismus hat den Zweck, den Contact dann herbeizuführen, wenn der Strom Null wird. Die Nebenschlusslampe eignet sich am besten zur Parallelschaltung und hat bisher die ausgedehnteste, praktische Verwendung gefunden.

Fig. 338.


3. Differentiallampe. Diese Lampe bildet eine Vereinigung der beiden vorangeführten Typen und besitzt nach der Fig. 338, eine Spule S mit dickem und eine Spule S_1 mit dünnem Draht bewickelt, welche durch ihre gegenseitige Wirkung das Regulieren der Lampe bedingen. Die Wirkung beider Spulen ist eine entgegengesetzte (differentielle). Die mit dickem Draht bewickelte Hauptstromspule S hat das Bestreben, den Lichtbogen zu vergrößern; die mit dünnem Draht bewickelte Nebenschlussspule S_1 wirkt wieder auf die Verkleinerung der Lichtbogenlänge. Bei normalen Lichtbogen halten sich die beiden Spulen das Gleichgewicht. Mit der Ver-

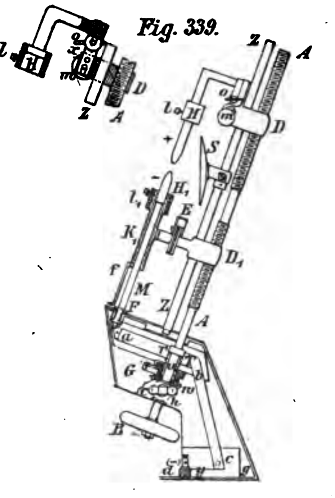
größerung des Lichtbogens wird aber die Nebenschlusspule S_1 an Kraft gewinnen, weil der Nebenschlusstrom i größer geworden ist, und es wird so lange der Kohlenträger angezogen werden, bis der normale Lichtbogen wieder eingetreten ist. Diese Lampe reguliert auf constanten Widerstand und eignet sich besonders für die Hintereinanderschaltung, sowie für die Verwendung von Bogenlampen im Freien. Im allgemeinen rechnet man für die Nebenschlusspulen 0·2 bis 0·3 Ampère Stromstärke.

Die unter 1, 2 und 3 angedeutete principielle Einrichtung wird nun bei der constructiven Ausführung in mannigfacher Weise variiert und completiert, so dass der Reguliermechanismus in Wirklichkeit nicht so einfach erscheint, als dies die schematischen Figuren 336 bis 338 andeuten.

2. Beschreibung einzelner Lampentypen.

Als Beispiele von Hand-, dann automatischer Lampen, ferner solcher für Projectionszwecke seien im nachfolgenden angeführt:

a) Die Handlampe von Sautter, Harlé & Cie. Die Fig. 339 zeigt die Construction einer Lampe für 60 bis 65 Ampère. G ist das Gehäuse, in dessen Deckplatte unter einem Winkel von etwa 40° gegen die Verticale geneigt, die Führungsstange Z befestigt ist. A ist die Schraubenspindel mit einem rechts- und einem linksgehenden Gewinde. Diese Gewinde tragen bewegliche Muttern DD_1, welche in der Führungsstange Z sichere Führung besitzen.


Fig. 339.

Die Kohlenträger KK_1 mit den Kohlenhaltern HH_1 tragen die mittels Druckschrauben ll_1 und Einlagringen festzumachenden Kohlenstäbe.

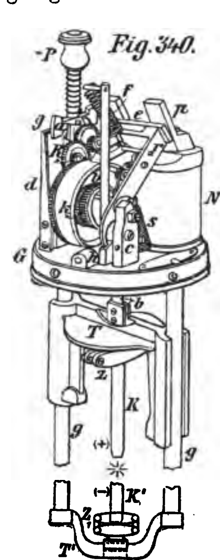
Durch entsprechende Drehung der Spindel A mit dem Handrade B können die Lichtkohlen von einander oder gegeneinander gebracht werden. Der obere, positive Kohlenträger K hat zwei Schneckentriebe o, m mit zugehörigen Radsegmenten, welche gestatten, den Kohlenträger um zwei horizontale, zu einander senkrechte Axen drehen zu können und dadurch die obere, positive Kohle axial zur unteren, fix befestigten, negativen Lichtkohle zu stellen.

Der positive Kohlenträger ist leitend mit den Metallmassen des Gehäuses, bezw. mit der an der Lampe direct aufgesetzten Lampenklemme oder Contactlamelle verbunden. Der negative Kohlenträger K_1 ist, gleichwie der ganze negative Leitungsweg, isoliert am Lampengehäuse befestigt. Dieser Kohlenträger schleift mit geringer Reibung auf der Führungsstange M. Eine isolierte Metallfeder f dient als Sicherheitscontact, damit stets Leitung zur negativen Kohle vorhanden ist. S ist ein Metallschirm, E ein Schirm, um die Isolationsschichte gegen herabfallende glühende Kohlen- oder Metalltheilchen (letzteres bei verkupferten Lichtkohlen vorkommend), zu schützen. Der negative Kohlenträger K_1 communiciert elektrisch durch ein isoliert geführtes Kupferband abc

mit der isolierten negativen Contactplatte *g* oder mit der negativen Lampenklemme *d*.

Um bei unregelmäßigem Abbrande der Lichtkohlen, diese Projectionslampe in die optische Axe eines Spiegels bringen zu können, werden die beiden Kohlen gleichzeitig im verticalen Sinne verschoben. Hiezu ist auf der Schraubenspindel *A* eine lose Schraubenhülse *T* aufgezogen, die durch zwei Ansatzringe *rr* an der Spindel fixiert werden kann. Überdies hat sie einen Längsschlitz, in welchen die am Lampengehäuse fest angebrachte Nase *u* eingreift. Es kann daher *T* weder gedreht noch verschoben werden. Als Mutter zur Schraubenhülse *T* ist das Kegelrad *w* vorhanden, welches mit dem Kegelrade *h* correspondiert, das mittels eines Griffes bewegt werden kann. Durch Activierung dieses Griffes wird entsprechend dem Drehsinne die Schraubenhülse *T* und mit ihr die Schraubenspindel *A* nach auf- oder abwärts bewegt, wobei beide Kohlenträger mitgenommen werden. Der Lichtbogen, bezw. die Lichtkohlen behalten ihre Stellung zu einander unverändert bei.

b) Bei der Bandlampe von Siemens & Halske für Gleichstrom (Fig. 340) trägt ein schrägstehender, an seinem unteren Ende um *c* drehbar gelagerte Rahmen *r* die Trommel *k*, um welche sich das Kupferband *b* wickelt; ferner das Laufwerk *R* mit Echappement, welches sich beim Abwickeln des Kupferbandes von der Trommel in Bewegung setzen muss, und endlich am oberen Ende den Eisenanker *e*, welcher von dem Polschuhe *p* des Nebenschlussmagneten *N* angezogen wird. Die Schwerkraft, sowie die magnetische Kraft des Nebenschlussmagneten *N* suchen den Rahmen *r* abwärts zu drehen und somit den oberen Kohlenhalter *K* zu senken; die Abreißfeder *f* wirkt diesen Kräften entgegen. In den oberen Lagen des Rahmens ist das Laufwerk *R* durch Übergreifen einer Zunge *g* der Balance *a* über die Klinke *d* gehemmt; nach einer gewissen Drehung des Rahmens nach abwärts wird das Echappement frei und das Kupferband kann sich von der Trommel allmählich abwickeln, indem der obere Kohlenhalter vermöge seiner Schwere langsam sinkt.



Das Spiel der Nebenschluss-Lampe ist folgendes: Nach Einschaltung der Lampe in den Stromkreis der Maschine gelangt der Rahmen *r* infolge der starken Erregung des Elektromagneten in seine tiefste Stellung; das Kupferband wickelt sich von der Trommel ab, bis die obere Kohle *K* die untere K^1 berührt. Hiedurch verliert der Elektromagnet *N* seine Anziehung und es erhält die Federkraft *f* das Übergewicht, zieht den Rahmen in die Höhe, der Lichtbogen bildet sich und das Laufwerk wird arretiert. Mit dem Größerwerden des Lichtbogens infolge des Abbrandes der Kohlen wächst der Magnetismus in *N* allmählich wieder und der Rahmen gelangt nach einigen Minuten in die Lage, welche er nun dauernd einnimmt, und in welcher die kleinste Drehung nach unten ein Abpendeln der Lampe verursacht, das jetzt in regelmäßig kurzen Intervallen erfolgt.

Weitere constructive Einzelheiten der Lampe, welche ihr ruhiges und gleichmäßiges Brennen bedingen, sind eine Luftpumpe zur Vermeidung zu

schneller Bewegungen des Rahmens, eine Vorrichtung *s*, um den durch den Abbrand der oberen Kohle *K* verursachten Gewichtsverlust auszugleichen, und die eigenthümliche Form der Polschuhe und des Ankers.

Das Laufwerk ist auf einen gusseisernen Teller *G* angeordnet und wird mit einer gusseisernen Kappe bedeckt, welche oben die Klemmen der Lampe trägt. Die negative Klemme — *P* ist von der Kappe isoliert und ist leicht an der kleinen Porzellanbüchse zu erkennen, durch welche sie hindurchgeführt ist.

Bei diesen Lampen mit veränderlichem Brennpunkte bildet die untere, fixe Traverse T^1 zugleich den Kohlenhalter, der mit einem Kugelgelenk die untere Kohlenzange z_1 trägt. Der Brennpunkt sinkt entsprechend dem Abbrand der unteren Kohle allmählich immer tiefer. Die obere Kohle *K* mit der Zange *z* wird durch den Träger *T* längs der beiden Führungsstangen *g* gleitend geführt.

Fig. 341.

Die Kohlenzangen z z_1 sind verstellbar eingerichtet und lassen sich nach allen Richtungen verschieben, so dass ein genaues Gegenüberstellen der Kohlenaxen möglich ist.

Für 10 Ampère-Lampen verwendet Siemens & Halske 18*mm*ige Ober-(Docht-)Kohlen und 12*mm*ige Unter-(Homogen-) Kohlen. Die Brenndauer beträgt bei 250*mm* Länge der Lichtkohlen 13 Stunden.

c) Bei der Differentiallampe von Křižik (für Parallelschaltung) sind in einem Lampengehäuse zwei Solenoide *M N* vorhanden, von welchen *M* im Hauptstrom-, und *N* im Nebenschlussstromkreise der Lampen liegen. In die Höhlung dieser beiden Spulen *M N* reichen Eisenkerne *E* hinein, die durch eine Seidenschnur *R* verbunden werden, welche über eine am oberen Teller des Gehäuses befestigte Nuthenrolle *A* führt. Diese Rolle ist zugleich eine Bremsrolle.

Die Kohlenhalter $K K_1$ bestehen aus Blechröhren, welche die conisch geformten Eisenkerne *E* umgeben und mit diesen fest verbunden sind. Sie tragen an ihren Enden Führungsrollen *r*, die an den isolierten Führungsstangen *f f* ablaufen.

Der Hauptstrom fließt von der positiven Klemme *p* am unteren Lampenteller *u*, isoliert in der hohlen Führungsstange *f* zur Klemme *k*, dann durch Kabel *m* zum positiven Kohlenhälter *K*, über den Lichtbogen zum negativen Kohlenhälter K^1, sodann durch m_1, f_1 in die Hauptstromspule *M* und schließt an die negative Lampenklemme an. Der Nebenschlusstrom zweigt an den Lampenklemmen ab und durchfließt die Bewicklung des Elektromagneten *N*. Beim Stromschlusse werden beide Kerne *E* in die Spulen *M N* hineingezogen, und bewirkt die Hauptstromspule ein Auseinander-, die Nebenschlusspule ein Zusammengehen der beiden Kohlenhalter. Durch die gegenseitige Wirkung der Spulen *M* und *N* wird der Lichtbogen gleich lang erhalten.

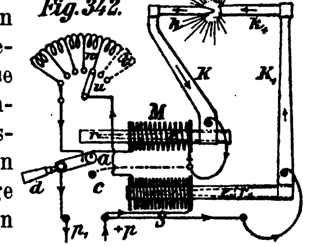


Fig. 342.

d) Die Fig. 342 stellt das Schema einer horizontalen Differentiallampe für Projectionszwecke (Typ Schuckert & Cie.) dar.

Die beiden Kohlenträger K und K_1 sind an den Blechrohren $e e_1$ befestigt, welche Eisenkerne $r r_1$ enthalten. Über diese durch Rollen geführte Blechrohre sind die Haupt- und Nebenschlusstromspulen $M S$ geschoben; vor der letzteren liegt eine Reihe von Zusatzwiderständen w, welche mittels des Kurbelschalters u variiert werden können. Ein Hebel d gestattet die Lampe als Hand-, oder als automatische Lampe gebrauchen zu lassen. Im ersteren Falle — also bei Handregulierung und bei der Stellung des Hebels d auf Contact c, — ist der Stromverlauf folgender:

Der bei der Polklemme $+p$ eintretende Strom führt direct zum Kohlenträger K_1, Kohle k_1, Lichtbogen, negative Kohle k, Kohlenträger K, über Contact c und Schalthebel d zum negativen Pol $-p_1$.

Im zweiten Falle, oder beim automatischen Betriebe, führt der von K kommende Hauptstrom durch die Hauptstromspule M über a in den Hebel d zu $-p_1$. Der Nebenschluss zweigt von der Klemme $+p$ ab, führt über die Spule S, Schalthebel u in die Widerstände w und schließt am Hebel d an die Hauptstromrückleitung (bei $-p_1$) wieder an.

Die Wechselstromlampen unterscheiden sich nur insoferne von den Gleichstromlampen, als bei den ersteren die Magnetkerne lamelliert sind und die Regulierspulen weniger Widerstand besitzen.

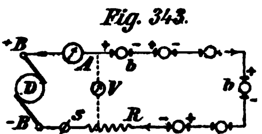
3. Schaltung von Bogenlampen.

Beim Gleichstrome müssen stets die + Klemmen der Lampe mit der + Klemme der Maschine verbunden werden; bei den Wechselstromlampen ist die Lage der Lampenpole, bezw. deren Verbindung mit der Dynamomaschine gleichgiltig.

Die Bogenlampen können sowohl hinter-, als nebeneinander geschaltet werden.

a) Die Hintereinanderschaltung (reine Bogenlichtschaltung) wird angewendet bei der Beleuchtung großer Terrainflächen, also von Lager- und Arbeitsplätzen, Bahnhofhallen, Straßen etc. Die Lampen $b b$ werden, wie in Fig. 343 gezeichnet, mit einander verbunden. In dem Lampenstromkreise der Maschine D kommt ein Ausschalter S, Ampèremeter A, Voltmeter V und Stromregulator R zu schalten. Sind einzelne Lampen auszuschalten, so muss für sie ein Ersatzwiderstand eingeschaltet werden. Die Zahl der hintereinander zu schaltenden Bogenlampen beträgt im Maximum 50 Lampen.

Fig. 343.



Beispiel. 6 Lampen à 10 Ampère sind hintereinander zu schalten; der Widerstand einer 200*m* langen Leitung beträgt 0·8 Ohm. Wie groß ist die Maschinenklemmenspannung?

Da eine 10 Ampère-Lampe bei 3*mm* Bogenlänge 40 Volt Spannung benöthigt, wird sonach $E = (6 \times 40) + 10 \, . \, 0{\cdot}8 = 248$ Volt sein. Die Stromstärke im ganzen Stromkreise ist constant 10 Ampère.

b) Einfache Parallelschaltung. Sämmtliche Lampen *b* sind, wie in Fig. 344 gezeichnet, mit der Hauptleitung verbunden. Jede Lampe bekommt einen Zusatzwiderstand *v* und eine Bleisicherung. Die Lampen lassen sich hier einzeln ausschalten. Für diese Schaltung kommt eine Maschinenspannung von 65 Volt in Verwendung.

Fig. 344.

Beispiel. 6 Lampen à 10 Ampère sind nebeneinander zu schalten. Die Maschinenklemmenspannung würde bei gleichem Leitungsverlust, wie beim vorigen Beispiele,

$45 + 8 = 53$ Volt erfordern; die Stromstärke jedoch $6 \times 10 = 60$ Ampère. Der Zusatzwiderstand hat sonach 12 Volt aufzunehmen.

c) Mehrfache Parallelschaltung. Bei derselben sind mehrere Reihen hintereinander geschalteter Bogenlampen *b* (Fig. 345) durch Parallelschaltung vereint; *z* ist der Zusatzwiderstand. Diese Schaltungsweise kommt vor, wenn eine große Zahl von Bogenlampen in größerer Entfernung von der Maschine betrieben werden soll.

Fig. 345.

d) Parallelschaltung von Bogen- und Glühlicht. Sind im Lampenstromkreise 65voltige Glühlampen vorhanden, so wird zu jeder Glühlampe eine Bogenlampe parallel geschaltet werden. Bei 100voltigen Glühlampen müssen (Fig. 346) zwei Bogenlampen *b* (bei Wechselstrom auch 3) hintereinander und mit der Glühlampe *g* parallel geschaltet werden. Jede Lampe, bezw. jedes Lampenpaar erhält einen Vorschaltwiderstand *R*, Ausschalter und eine Sicherheitsschaltung. Die Schaltungsweise mit zwei hintereinander geschalteten Bogenlampen wird bei Beleuchtungsanlagen mit gemischter Beleuchtung allgemein angewendet.

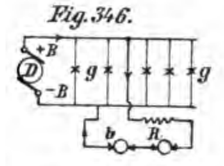


Fig. 346.

4. Aufhängevorrichtungen. Die räumliche Lichtvertheilung.

Die Bogenlampen werden, um sie gegen Luftzug, Staub und Witterungseinflüsse zu schützen, in eigene Gehäuse (Laternen mit Glaskugeln *C*, Fig. 347) eingeschlossen. Die Glaskugeln verwendet man überdies zur Dämpfung des Lichtes und um dasselbe gleichmäßig vertheilt erscheinen zu lassen. Ihre Anwendung bewirkt jedoch nach der Art und Dicke der Glaskugel einen Lichtverlust von 15 bis zu 60% (Opalkugel) der totalen Lichtmenge. Mit den Gehäuse-Verschlüssen werden die Bogenlampen je nach ihrer örtlichen Verwendung, ob in geschlossenen Räumen oder im Freien, verschiedenartig montiert. Gewöhnlich erhalten sie entsprechend construierte Aufziehvorrichtungen *Z* (Fig. 347), welche aus Querstücken mit Rollen bestehen, über welch' letztere Zugseile (mit Gegengewichten u. dgl. m.) laufen. Mittels solchen Aufziehvorrichtungen werden die Bogenlampen bei Innenbeleuchtungen an der Decke oder an entsprechenden Consolen (Wandarmen), bei Außenbeleuchtungen an Bogenlampenständern (Maste,

Fig. 347.

Fig. 348) befestigt. Die beweglichen Stromzuführungen von der Hauptleitung *l* zur Lampe *L* werden in der Regel aus gut isolierten Kupferdrahtlitzen hergestellt und deren Ausgangspunkt in der Mitte zwischen tiefster und höchster Stellung der Lampe gewählt.

Fig. 348.

Die Ausstattung der Bogenlichtträger (Lampenmaste, Säulen, Wandarme etc.) ist eine unterschiedliche, und existieren hierüber bei jeder Firma Musterbücher.

Fig. 348 versinnlicht eine Bogenlichtmontage an einem Lampenmaste, wie solche z. B. bei einer mobilen Beleuchtungsanlage vorkommt.

In der Figur bedeutet *B* einen aus mehreren Theilen bestehenden, um den Fuß *b* umlegbaren Mast, welcher durch drei Zugseile *a* und den Erdankern *c* in seiner verticalen Lage festgehalten wird.

Da die Lichtausstrahlung der Bogenlampen eine ungleichmäßige ist, so ist es auch schwierig, eine vollkommen gleichmäßige Beleuchtung in einem Raume durch Bogenlicht zu erzeugen. Man muss immer für ein bestimmtes Beleuchtungsminimum eine größere totale Lichtmenge erzeugen, als dies bei Glühlicht nothwendig ist, welches sich für die Theilung des Lichtes vortheilhafter als das Bogenlicht eignet. Überschlagsweise rechnet man bei einer Raumbeleuchtung durch Bogenlicht, u. zw. bei den in der Praxis üblichen 4, 6, 8, 10, 15 und 20 Ampère-Lampen, bei Gleichstrom rund 100 Kerzen, bei Wechselstrom 70 Kerzen pro Ampère Stromstärke.

Eine Gleichstromlampe von 8 bis 10 Ampère erzeugt z. B. im Mittel 450 Normalkerzen.

Hinsichtlich der Beleuchtungseffecte ist zu beachten, dass je nach dem Zwecke der Räume bestimmte Forderungen für die Helligkeit und Vertheilung des Lichtes gestellt werden. Gewöhnlich hat jede installierende Firma schon bestimmte Daten über Zahl und Leuchtkraft der Lampen, u. zw. in Bezug auf die Größe der zu erhellenden Bodenfläche, welche dann dem Calcul zugrunde gelegt werden.

Im allgemeinen richtet sich eine Flächenbeleuchtung sowohl nach der Stromstärke, als auch nach der Aufhänghöhe der Lampen. So nimmt man z. B. für 4 Ampère-Lampen eine übliche Höhe von 2·5 bis 3*m*, von 12 Ampère-Lampen eine solche von 6 bis 14*m* an. Man rechnet dann pro 4 Ampère-Lampen 40 bis 500m^2, für eine 12 Ampère-Lampe 500 bis 2.000m^2 Flächenraum, u. zw. je nachdem man eine intensive oder weniger intensive Beleuchtung erzielen will.

Bei der Straßenbeleuchtung setzt man die Bogenlampen (mit 1.200 bis 2000 Kerzen pro Lampe) auf 60 bis 80*m* Entfernung von einander und hängt sie 6 bis 15*m* hoch; für Arbeitsplätze im Freien kann man sie 40*m* weit und 6 bis 8*m* hoch hängen.

Hinsichtlich der Lichtvertheilung bei der Projectionsbeleuchtung wird auf die einschlägige Literatur verwiesen [1]).

Wechselstromlampen zeigen bei gleichem Energieverbrauche gegenüber den Gleichstromlampen eine Minderleistung von 20 bis 25%.

---

[1]) Siehe „Die elektrische Vorfeldbeleuchtung" von K. Exler, 1894.

5. Betrieb und Betriebsstörungen. Vor- und Nachtheile des Bogenlichtes.

Der Betrieb regelt sich je nach den Lampenconstructionen, und es ist vor allem darauf zu sehen, dass die Stromstärke und Spannung stets auf der normalen Betriebshöhe erhalten werden. Hinsichtlich der Lampen selbst ist auf ein richtiges Lichtkohleneinsetzen, auf eine gute Befestigung derselben und ein richtiges Functionieren des Lampenmechanismus zu sehen.

Der Vorgang beim Ein- und Ausschalten von Bogenlampen ist nach der Schaltungsweise etwas verschieden.

a) Bei der Hintereinanderschaltung werden die Lampen nach und nach eingeschaltet, u. zw. sobald die Dynamomaschine die normale Tourenzahl erreicht hat. Das Ausschalten erfolgt nach Abstellen der Maschine oder nach Verminderung ihrer Tourenzahl (um etwa $^1/_3$ der normalen), bezw. durch Einschaltung von Widerstand im Rheostaten.

b) Bei der Parallelschaltung erfolgt das Ein- und Ausschalten während des normalen Ganges der Maschine. Die Bogenlampen, bezw. Bogenlampen-Gruppen werden nacheinander eingeschaltet, zuerst zum richtigen Einbrennen gebracht, und dann die Glühlampen zugeschaltet. Analog geht man auch beim Ausschalten vor.

Bei der Überprüfung einer Bogenlampe wird die Lampe mit der vom Fabrikanten angegebenen Stromstärke in Betrieb gesetzt, die Lichtbogenlänge und Spannung gemessen. Die Genauigkeit der Regulierung soll eine derartige sein, dass die mittlere Abweichung von der mittleren Lichtbogenlänge nur 5% beträgt. Die Lichtkraft wird durch photometrische Messungen ermittelt; letztere bestimmen auch die Wahl der Kohlenstäbe.

Hinsichtlich der Wechselstromlampen sei noch erwähnt, dass diese bei 40 Perioden Stromwechsel noch befriedigend functionieren.

Die Betriebsstörungen machen sich durch ein Versagen des Reguliermechanismus (keine Lichterzeugung) oder durch Zucken und Zischen des Lichtbogens bemerkbar.

Die Ursachen der Betriebsstörungen können bestehen:

α) in zu niedriger Betriebsspannung, β) in schlechten Lichtkohlen, und γ) in Leitungsfehlern, u. zw. entweder in Continuitäts- oder in Isolationsfehlern des Lampenmechanismus oder in solchen in der Zuleitung zur Lampe, bezw. in den, in dieser Zuleitung eingeschalteten Vorrichtungen (Regulierwiderständen). Arbeitet eine Lampe bei normaler Betriebsspannung gut, so ist ein Fehler in der Zuleitung vorhanden. Bei zu großem Vorschaltwiderstande tritt ein Zucken auf. Bei Wechselstromlampen wendet man behufs ruhigen Abbrandes oft auch kleine, um die Lichtkohlen gelegte Inductionsspulen an.

Die Überprüfung des fehlerhaften Zustandes einer Bogenlampe geschieht zuerst durch äußeren Beschau, bei Revision des Reguliermechanismus und beim Fortbestehen des Fehlers sodann durch systematische Untersuchung der Lampe mittels der Leitungs- und Isolationsprüfer.

Die Bogenlampen besitzen im allgemeinen eine größere Ökonomie als die Glühlampen, da bei gleichem Lichteffecte die aufgewendeten Energie-

mengen sich wie 1 : 3 (bei größeren Lampen wie 1 : 6) verhalten. Sie gestatten aber keine so weitgehende Theilung des Liches wie die Glühlampen. Sie eignen sich daher vorzüglich zur Beleuchtung großer Räume. Überdies ist das Licht weiß und verändert die Farben nicht. Da sie sich nicht vollkommen abschließen lassen, ist die Feuersgefahr eine größere, als bei Glühlampen, und erscheint damit auch die Verwendung von Bogenlicht in Räumen mit Explosivstoffen etc. vollkommen ausgeschlossen. Infolge der Möglichkeit, sehr große und starke Lichtquellen zu schaffen, eignet sich das Bogenlicht ganz ausgezeichnet zu Projectionszwecken.

Beim Vergleich zwischen Wechselstrom- und Gleichstrombogenlicht erscheint letzteres unter Umständen günstiger, da nicht nur dessen Lichtvertheilung eine ökonomischere ist, sondern bei den Wechselstromlampen auch einige Übelstände auftreten können, wie z. B. das Geräusch infolge der Lampenconstruction, der größere Kohlenstiftverbrauch, das Mehrfachsehen etc., welche störend wirken. Im allgemeinen kann jedoch in Bezug auf das Bogenlicht, bei Voraussetzung gut regulierender Lampen, der Gleich-, dem Wechselstrome äquivalent gesetzt werden.

Hinsichtlich der Bogenlichtleitungen sei zum Schlusse noch erwähnt, dass man in geschlossenen Räumen stets isolierte Leitungen (oft Leitungsseile) verwendet. Für Leitungen im Freien verwendet man bei wenig und nicht zu entfernt stehenden Lampen isoliertes Material, bei größerer Ausdehnung der Beleuchtungsanlage aber blanken Kupferdraht. In diesem Falle sind für die beweglichen Stromzuführungen isolierte Kabel zu verwenden.

D. Allgemeines über Beleuchtungsanlagen.

Jede elektrische Beleuchtungsanlage bezweckt die Umsetzung elektrischer Energie in Wärme, bezw. deren Ausnützung zu Lichteffecten in den Beleuchtungskörpern. Es ist hiezu das Vorhandensein eines Generators oder einer Elektricitätsquelle nothwendig, welche die mechanische Energie des den Generator antreibenden Motors (Dampf- oder Wassermotors) in Stromarbeit umsetzt. Der antreibende Motor sammt dessen Zubehör (Transmission) bildet den „maschinellen Theil“ einer elektrischen Beleuchtungsanlage; während der elektrische Generator sammt den stromführenden Leitungen und den Beleuchtungskörpern den „elektrischen Theil“ bilden. Da nun die Beleuchtungskörper je nach ihrer Eigenart eine bestimmte Menge Elektricität erfordern, so müssen in den elektrischen Beleuchtungsanlagen noch Hilfsapparate vorhanden sein, welche gestatten, den Stromverbrauch zu regeln, denselben controlieren und sichern zu können. Überdies werden die Beleuchtungskörper nach Zahl, Größe und Eigenart verschieden geschaltet werden, wodurch sich eine verschiedene Art der Vertheilung der elektrischen Energie ergibt. Während nun die Generatoren und Beleuchtungskörper bereits in den vorangegangenen Abschnitten erörtert worden sind, soll die Erörterung der Hilfsapparate, Leitungen und der Energievertheilung den folgenden Abschnitten vorbehalten bleiben.

Im allgemeinen werden sich die verschiedenen Beleuchtungsanlagen in ihrer principiellen Ausgestaltung nicht wesentlich von einander unterscheiden. Doch zeigt die Praxis, dass die Ausgestaltung der Anlagen, je nach der Größe und Ausdehnung derselben, dann nach dem Zwecke und dem zu erzielenden Lichteffecte, sowie der anzuwendenden Stromform und Spannung eine verschiedene sein kann. Man kann die elektrischen Beleuchtungsanlagen untertheilen:

a) in solche mit nur einem Lichte — Einzellichtanlagen, — wie dies bei der elektrischen Vorfeldbeleuchtung, bei der Anlage von Leuchtthürmen etc. vorkommt;

b) in solche mit Theilungslicht, wo mehrere elektrische Beleuchtungskörper im Stromkreise des Generators vorkommen. Je nachdem hiebei nur Glüh- oder Bogenlicht angewendet wird, hat man es mit einer „reinen Glüh-", oder „reinen Bogenlichtanlage" zu thun, sonst aber bei Anwendung von Bogen- und Glühlicht mit einer „gemischten" Beleuchtung.

c) Auch die örtliche Verwendungsweise wird die Beleuchtungsanlagen weiter specialisieren lassen. Anlagen für mobile Zwecke werden im Detail anders als solche für stabile Zwecke, jene für Zugförderungsmittel anders, wie jene für eine Schiffsbeleuchtung gestaltet werden. Während stabile Anlagen die größte Mannigfaltigkeit der Detailconstructionen gestatten, begrenzt sich diese bei mobilen Anlagen, Schiffsmontagen und bei Eisenbahnen wesentlich, weil solche Anlagen Einfachheit, Übersichtlichkeit und erhöhte Betriebssicherheit verlangen. Doch wird auch bei stabilen Anlagen stets darnach gefragt werden müssen, für welche Objecte eine Beleuchtung zu installieren ist, da Objecte mit brennbaren oder explosiblen Materien (Pulverfabriken, Brennereien, Schächte mit schlagenden Wettern etc.) besondere, und zugleich erhöhte Sicherheitsbedingungen an Material und Montage stellen.

Bei mobilen Anlagen kommt es auf die größte Leichtigkeit des Materials und größtem elektrischen Güteverhältnis an.

Bei der elektrischen Beleuchtung von Eisenbahnzügen soll die Beleuchtung sowohl während der Fahrt, als auch im Ruhestande des Trains functionieren und soll eine leichte Abtrennung oder der leichte Anschluss einzelner Wagen gestattet werden können. Einen sicheren Erfolg kann für solche Beleuchtungsanlagen nur der Accumulatorenbetrieb erhoffen lassen.

Bei Seeschiffen muss die Anlage derart gemacht werden, dass der Schiffscompass durch die elektrischen Leitungen nicht beeinflusst wird, ferner müssen die Leitungen dem Angriffe der Seeluft und des Seewassers widerstehen; man nimmt daher concentrische Kabel von vorzüglicher Isolation zu Leitungen und dichtet überdies alle Anschlusstellen in besonders sorgsamer Weise ab. Werden Wechselstrommaschinen auf Seeschiffen verwendet, so kann man den Schiffskörper in die Leitung einschalten, bei Gleichstrom aber nicht. Meist wird auf Kriegsschiffen mit der Innenbeleuchtung noch eine Außenbord-(Vorfeld-)Beleuchtung, sowie der elektromotorische Antrieb von Aufzügen, Panzerlafetten etc. verbunden, welche dann die Verhältnisse noch mehr complicieren.

Nach vorstehender Darlegung ist es aber klar, dass stets das Object und dessen örtliche Verhältnisse die Auswahl und Durchführung von elektrischen Beleuchtungsanlagen wesentlich bestimmen werden.

Hilfsapparate.

Dieselben dienen einerseits dazu, den Betrieb von elektrischen Anlagen zu regeln, anderseits denselben zu controlieren und zu sichern.

Zu diesen Apparaten gehören:

1. Ausschalter. Diese bewirken das Öffnen und Schließen eines Stromkreises. Sie können je nach der angewendeten Stromstärke, Art des Betriebes (ob von Hand aus oder automatisch), dann je nach der angewendeten Spannung des Stromes (ob hoch- oder niedergespannt), endlich nach der Zahl der gleichzeitig auszuschaltenden Stromkreise verschieden construiert sein.

Für schwache Ströme verwendet man Druckknöpfe, Taster, Schlüssel und Commutatoren, für starke Ströme hingegen verschiedenartig geformte und oft ganz speciell ausgebildete Hebelausschalter, von welchen eine einfache Type in Fig. 349 dargestellt ist.

Fig. 349.

Auf einer aus Holz, Schiefer-, Marmor- oder Porzellanplatte gefertigten Grundplatte sind drei Contactstücke *a*, *b*, *c* aufmontiert; an *b* und *c* wird die Leitung angeschlossen. Das Schließen und Unterbrechen des Stromes bewirkt der gleitende, meist durch eine Feder an die Contacte gedrückte Schalthebel *H*. Bei der Verbindung von *c* mit *b* ist der Stromkreis „geschlossen“, bei der Stellung des Hebels *H* auf *a* — *c* jedoch „geöffnet“.

Zur Erzielung einer geringen Funkenbildung beim Ausschalten werden solche Ausschalter auch mit eigenen Abreiß-(Spring-)Mechanismen versehen, durch welche, infolge Wirkung von Abreißfedern, ein rasches Unterbrechen herbeigeführt werden kann. Bei hochgespannten Strömen wendet man Kohlenausschalter an, indem durch das langsame Auseinanderziehen von zwei Lichtkohlen der Stromkreis, wie beim Bogenlichte, unterbrochen werden kann.

Oft werden Stöpsel zum Ausschalten verwendet (Stöpselausschalter), welche bei großen Stromstärken sodann in die entsprechenden Schaltöffnungen eingeschraubt werden.

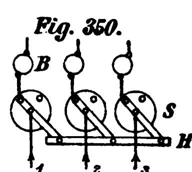


Fig. 350.

Die Fig. 350 stellt einen dreipoligen Ausschalter *S* vor, welcher bei Drehstromanlagen verwendet wird. Durch die Handhabung des Hebels *H* können alle drei Stromkreise 1, 2, 3 gleichzeitig unterbrochen oder geschlossen werden.

Die automatischen Ausschalter, welche in größeren Beleuchtungsanlagen, dann insbesondere bei Anlagen mit hochgespanntem Strome Anwendung finden, haben den Zweck, entweder bei zu hoher Stromstärke (Maximalausschalter) oder bei zu niederer (Minimalausschalter) den Stromkreis zu unterbrechen. Ferner gibt es Ausschalter, welche bei nebeneinander geschalteten Maschinen diese dann ausschalten sollen, sobald sie einen Rückstrom empfangen.

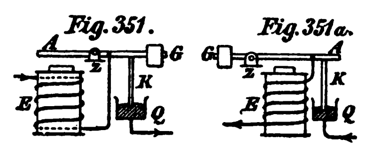


Fig. 351. Fig. 351 *a*.

Das Princip der verschiedenartig construierten automatischen Ausschalter ist in den Figuren 351, 351 *a* dargestellt. Der Elektromagnet *E* hat einen um *Z* drehbaren Eisenanker *A*, dessen Contactarm *K* in einen Quecksilbernapf *Q* zu reichen vermag. *G* ist ein Gegengewicht.

Hat der Strom eine gewisse Intensität überschritten, so wird nach der Fig. 351 der Magnet *E* seinen Anker *A* anziehen und den Stromkreis durch Herausheben des Armes *K* aus dem Napf *a* unterbrechen. Sinkt die Stromstärke unter eine bestimmte Grenze, so lässt der Magnet nach Fig. 351 *a* den Anker los und das Balancegewicht *G* öffnet durch seine Wirkung den Contact bei *Q*.

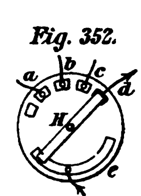
Die Ausschalter werden je nach Bedarf in den Haupt- und Verzweigungsleitungen, u. zw. in der Regel an denselben Polen eingebaut. Der Ausschalter zunächst der Maschine, welcher den ganzen Stromkreis zu öffnen oder schließen gestattet, heißt Maschinenausschalter. Die Ausschalter sind als funkengebende Apparate, insbesondere in Räumen mit leicht entzündlichen Stoffen, unter besonderen Vorsichtsmaßregeln zu montieren; am zweckmäßigsten sind sie außerhalb solcher Räume zu legen.

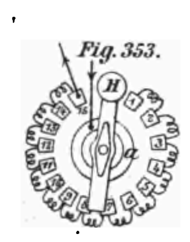
Zu den Ausschaltvorrichtungen gehören ferner die „Kurzschließer“, welche die Leitungscontinuität in jenem Momente herstellen, wo durch Störungen im Verbrauchsapparate der Stromkreis unterbrochen werden sollte.

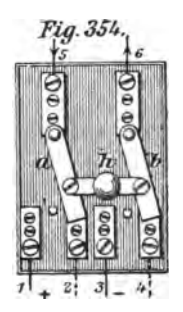
2. Umschalter. Dieselben dienen zur abwechselnden Verbindung einer oder verschiedener Stromquellen mit verschiedenen Leiterkreisen.

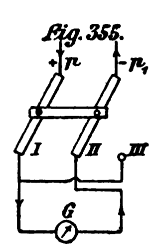
Soll durch eine Umschaltvorrichtung die Stromrichtung umgekehrt werden, so nennt man sie Polwender. Größere Umschalterconstructionen, wie sie z. B. in Centralen vorkommen, nennt man Generalumschalter. Es gibt analog den Variationen bei 1. auch hier mannigfache allgemeine und Specialconstructionen. Fig. 352 stellt einen einpoligen Hebelumschalter dar, der sich vom Ausschalter durch das Vorhandensein mehrerer Fortleitungscontacte *a, b, c, d* unterscheidet.

Schleift eine Kurbel *H* (Fig. 353) über eine Reihe von Umschaltcontacten 1, 2, 3 . . . . . 15, so erhält man als gebräuchlichste Form der Um-









schalter für die Widerstandsregulatoren, einen Kurbelschalter. Die Stromzuführung erfolgt bei der Schiene *a*, die Ableitung bei Contact 15.

Die Fig. 354 stellt einen zweipoligen Hebelumschalter (Voltmeterumschalter) dar. Bei demselben wird der Doppelhebel *a b* mittels des Druckknopfes *h* verschoben. Bei der gezeichneten Stellung sind nun Leitung 5 und 6 (des Voltmeters) mit der Leitung 2, 4 (z. B. einer Maschine) verbunden. Durch die Stellung der Hebel *a b* auf Leitung 1, 3 (z. B. einer Accumulatorenbatterie) kann das Voltmeter auf diese Leitung geschaltet werden.

Die Fig. 355 zeigt schematisch einen Polwechsler, welcher sich vom früheren Umschalter dadurch unterscheidet, dass er blos drei Contact-

knöpfe I, II, III besitzt, wovon I und II leitend mit einander verbunden sind und einen Pol bilden, während II an den zweiten Pol angeschlossen ist.

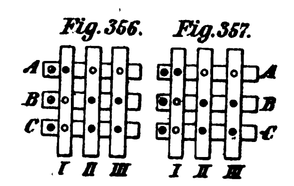


Fig. 356. Fig. 357.

Die Generalumschalter (Fig. 356, 357) bestehen meist aus kreuzweise übereinander gelegten, von einander isolierten Metallschienen. Die Kreuzungsstellen sind durchlöchert und können durch Contactstöpsel an diesen Stellen verbunden werden. Die verticalen Schienen I, II, III sind mit den positiven, bezw. mit den negativen Leitungen der Stromquelle verbunden. Die horizontalen Schienen *A B C* sind an die betreffenden Stromkreise angeschlossen. Soll z. B. die Stromquelle I auf den Stromkreis *A* geschaltet werden, so sind die Kreuzungsstellen zwischen Schiene I und *A* zu stöpseln.

3. Regulierwiderstände. Dieselben dienen zur Regulierung der Stromstärke in jenem Stromkreise, in welchen sie geschaltet werden. Zu diesen gehören:

a) die Seite 130 bereits erwähnten Hauptstrom-, dann Nebenschluss-Rheostate, welche meist Spiralwiderstände sind, die mit vielcontactigen Kurbelschaltern verbunden werden. Ihr Widerstandsumfang ist verschieden; für Nebenschlussrheostate zwei- bis viermal so groß, wie der Widerstand der Feldmagnete, für Compoundmaschinen 30 bis 40% des Nebenschlusswiderstandes. Sie gestatten die Stromstärke und Spannung bis auf $^1/_3$ oder $^1/_5$ der normalen Betriebsgrößen zu regulieren und können für vorübergehende Belastungen die doppelte Stromstärke vertragen.

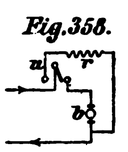


Fig. 358.

b) Die Vorschaltwiderstände, welche bei der Parallelschaltung von Bogenlampen (Fig. 346) in gemischten Beleuchtungsanlagen angewendet werden. Bei den Messapparaten verwendet, nennt man sie auch Zusatzwiderstände. Sie wirken als Ballastwiderstände zur Schwächung der Spannung, bezw. der Stromstärke.

c) Die Ersatzwiderstände *r*, welche als äquivalente Widerstände für eine anzuschaltende Lampe *b* (Fig. 358) mit Hilfe eines Umschalters *u* in den Stromkreis geschaltet werden können.

4. Sicherungen. Dieselben haben den Zweck, durch das Abschmelzen von Stanniolblättchen, Blei-, Kupfer- und anderen Drähten oder Streifen den Stromkreis, in welchen sie geschaltet sind, zu unterbrechen. Dies geschieht automatisch dann, wenn die Temperatur des Leiters eine gewisse Grenze überschritten hat.

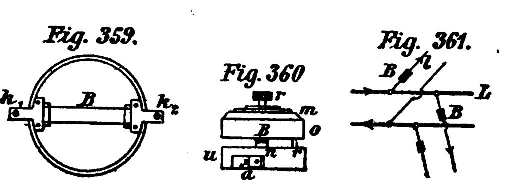
Sicherungen sollen also einem Glühendwerden der Leitungen durch zu hohe Beanspruchung (zu große Stromstärke) und damit gegen Feuersgefahr schützen. Sie werden überall dort angewendet, wo Leitungen abzweigen (Fig. 361) und wo ein Querschnittswechsel der Leitung eintritt. Sie werden bei Stromstärken über 30 Ampère am zweckmäßigsten in alle Leitungen eingebaut (einfache, bipolare, dreifache Sicherungen). Je nach der Stromstärke und nach dem Verwendungsorte (ob an trockenen, an feuchten oder an feuergefährlichen Orten), dann nach der Materialbenützung etc. gibt es verschiedene Sicherungsconstructionen. Meist werden Bleidrähte (aus reinem Blei oder auch aus Bleicompositionen) in der Form von Abschmelzdrähten auf unverbrennlichen Unter-

lagen montiert, oder in Steingutdosen, Glaskörpern etc. eingeschlossen; sie erhalten sodann je nach ihrer Dicke eine verschiedene Maximalbeanspruchung.

Siemens & Halske rechnen z. B. für blanke Bleistreifen (Bleisicherungen) bei einer Stromstärke von 1 bis 100 Ampère eine Beanspruchung von 6 Ampère pro mm^2, bei 100 bis 200 Ampère Stromstärke 5 Ampère, und bei 200 bis 500 Ampère 4 Ampère pro mm^2.

Im allgemeinen sollen die Bleidrähte so dimensioniert werden, dass in keinem Leitertheile das Doppelte der normalen Beanspruchung überschritten werden kann. Keinesfalls dürfen aber stärkere Sicherungen angewendet werden, als es der Durchmesser des zu schützenden Drahtes gestattet. Die Sicherungen werden je nach dem Verwendungsorte bezeichnet, z. B. „Maschinenbleisicherung", „Sicherung für Hauptleitungen" etc. und werden entweder als „offene" oder „verdeckte" Sicherungen montiert.

Als Beispiel zeigt die Fig. 359 eine Maschinenbleisicherung, bei welcher die Klemmen k_1 k_2 durch eine Bleiplatte B verbunden sind.



In der Fig. 360 ist eine Bleisicherung von Siemens & Halske dargestellt.

Der untere Porzellankörper u dient zur Aufnahme der Stromleitungsdrähte, welche an Schrauben a befestigt werden und mit den Contactknöpfen n in Verbindung stehen. Der Deckel o, welcher an einen Schraubenstift central geführt und durch den Stift r in seiner Lage fixiert wird, enthält die Bleisicherung B, von welcher sich zwei blanke hervortretende Contactstellen gegen die Contacte n pressen. Die Pressung wird durch die Schraube r und das Deckplättchen m bewirkt. Der Deckel o muss stets fest gegen den Untertheil u angepresst sein.

Die Fig. 361 zeigt die Schaltung der Sicherungen B in den Stromzweigen l.

Bei hochgespannten Strömen (Kraftübertragungsanlagen) werden außer den Bleisicherungen noch automatisch wirkende Ausschalter und Kurzschließer, dann mechanische Fangvorrichtungen in die Leitung eingebaut, um die Gefahren, welche in der Anwendung hochgespannten Stromes liegen, möglichst zu restringieren. Überdies macht man die Stützpunkte von Hochspannungsleitungen außen deutlich kenntlich.

5. Messapparate. An Controlapparaten werden im elektrischen Betriebe verwendet:

a) die Ampèremeter, zur Messung der Stromstärke. Die bereits Seite 49 beschriebenen, empirisch geaichten Strommesser werden, wie die Fig. 67 zeigt, direct geschaltet, u. zw. schließt die + Klemme des Ampèremeters stets an die von der + Klemme der Maschine kommende Leitung an.

b) Die Voltmeter, zur Messung der Spannung (oder des Druckes). Dieselben sind ebenfalls schon Seite 56 beschrieben worden. Ihre Schaltung geschieht durch Anschluss an jene Punkte, deren Spannungsdifferenz gemessen werden soll; also z. B. an die Maschinenklemmen zur Messung der „Klemmenspannung". Hinsichtlich der Pollage gilt das gleiche, wie unter *a*).

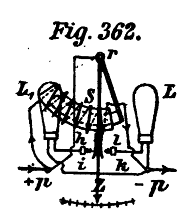
Volt- und Ampèremeter sind in der Regel bei jeder Starkstromanlage anzuwenden. Oft erfordert die Stromvertheilung die Anwendung mehrerer solcher Messapparate.

Man kann ein Voltmeter jedoch auch durch Umschalter auf mehrere Stromkreise alternierend schalten. Zweckmäßig ist es, jene Voltmeter, welche nicht zur ständigen Controle der Spannung dienen, mit kleinen Ausschaltern zu versehen, um das Voltmeter nur zeitweise einzuschalten und hiedurch einer schädlichen Erwärmung der Voltmeterspulen vorzubeugen.

c) Die Elektricitätszähler und die Arbeitsmesser. Dieselben sind Seite 67 bereits beschrieben worden. Die Elektricitätszähler werden directe in den Stromkreis geschaltet. Die Wattmeter werden, u. zw. deren dicken Spulen direct in den Stromkreis, die mit dünnen Draht bewickelten Spulen aber in einen Nebenschluss an die Leitungen gelegt.

6. Signal- oder Controlapparate. Dieselben haben den Zweck, durch ein hörbares Zeichen (Klingelwerk) oder durch ein sichtbares Zeichen (Glühlampen) den Maschinisten von dem anormalen Zustande des Betriebes in Kenntnis zu setzen. Der Apparat tritt in Thätigkeit, wenn z. B. die Spannung der Dynamomaschine eine zu hohe oder zu niedere ist, daher die Tourenzahl, bezw. die Füllung der Dampfmaschine zu regulieren kommt.

Fig. 362.

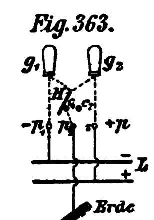


Als Beispiel ist in der Fig. 362 der Apparat von Ross & Cie. dargestellt, welcher ein Voltmeter ist, das aus einer Spule S besteht, in welche ein Eisenkern eingezogen wird. Dieser Eisenkern hängt an einem Zapfen r und ist mit dem Zeiger Z verbunden, der auf einer Scala spielt.

Die Zeigernadel hat nun zwei Federn $h\,l$, welchen zwei Contactschrauben i, k gegenüber stehen. Durch den Contact der Feder h mit der Schraube i wird eine rothe Glühlampe L_1, durch jenen von l mit k eine grüne Lampe L activiert. Dadurch wird ein optisches Zeichen gegeben, dass die Spannung zu nieder oder zu hoch ist. Brennt keine der Lampen, so ist die Spannung normal. Der Stromweg ist aus der Fig. 362 zu ersehen.

7. Erdschlussprüfer. Dieselben dienen zum Anzeigen von Erdschluss in Beleuchtungsanlagen. Die Fig. 363 stellt einen Erdschlussanzeiger einfachster Art dar. Zwei Glühlampen $g_1\,g_2$ gleicher Spannung sind hintereinander geschaltet und mit der Leitung L durch die Contacte $p\,p_1$ verbunden. Die den Lampen gemeinsame Erdleitung ist an Contact p_2 angeschlossen.

Fig. 363.



Ein Hebel H gestattet bei seiner Stellung auf c_1 die Lampen $g_1\,g_2$ mit der Erdleitung zu verbinden, bezw. bei seiner Stellung auf c_2 diese Verbindung zu unterbrechen. Im letzteren Falle brennen beide Lampen mit der halben Spannung. Liegt der Hebel auf c_1, so wird bei Erdschluss in einer der Leitungen L (+ oder —), stets die der fehlerhaften Leitung zugehörige Glühlampe heller brennen. Haben beide Leitungen Erdschluss, so brennen beide Lampen.

8. Blitzableiter. Für längere Leitungen im Freien, dann zum Schutze elektrischer Maschinen, Motoren, Transformatoren etc. sind Blitzschutzvorrichtungen erforderlich. Dieselben können sehr verschieden construiert sein.

Sie haben in erster Linie den Zweck, die Apparate und die mit diesen eventuell amtierenden Personen von mehr oder minder intensiven Inductionsfunken und Partialentladungen zu schützen. Ihre Wirkung besteht darin, dass der hochgespannte Strom eines partiellen Blitzschlages die isolierende Luftschichte zwischen zwei Platten zu überspringen vermag und durch einen Ableitungsdraht sodann in die Erde gelangt. Gegenüber einem vollen, directen Blitzschlage sind sie vermöge des geringen Querschnittes der Ableitungen oft wirkungslos.

Gewöhnlich werden sie als „Plattenblitzschutz" construiert und die Platten mit Spitzen, Schneiden oder Zähnen versehen. Die Fig. 364 stellt beispielsweise einen Plattenblitzschutz dar. Zwei von einander isolierte Platten $a\,b$ stehen einer Metallplatte c gegenüber, welche mit der Erde verbunden wird. a und b sind mit den Leitungen L verbunden. Oft stehen geriffelte Platten einander gegenüber, oder es werden Schmelzdrähte, Seideneinlagen etc. verwendet.

Fig. 364.

In der Praxis sind weiters verschiedene Constructionen vorhanden, welche bezwecken, durch das Auslöschen des Funkens das Zusammenschmelzen der einander gegenüberstehenden Plattenspitzen zu vermeiden. Hiezu werden manchmal Explosivpräparate zwischengeschaltet.

In der Fig. 365 ist ein Blitzschutz mit selbstthätiger Funkenlöschung — Typ Siemens & Halske — dargestellt.

Derselbe besteht aus einem Porzellanisolator g sammt dem Träger t, mit welchen der Apparat an der Mauer befestigt wird. Eine metallische Verbindung führt von der Leitung L zu einer geriffelten Platte b, welcher anderseits eine zweite Platte a gegenüber steht. Diese wird von einem Eisenkern d getragen, welcher innerhalb des Solenoides S sich befindet und welch' letzteres mit der Erde in Verbindung steht. Durch das Überspringen eines Blitzes zwischen a und b wird durch S ein Strom führen und den Kern d anziehen, sonach a von b abreißen.

Fig. 365.

Bei Telephonen werden gewöhnlich die „Spindelblitzableiter" oder Schmelzdrahtapparate angewendet. Sie sollen einen möglichst geringen Widerstand haben und bei 0·1 bis 0·15 Ampère abschmelzen. Sie werden meist außer den Gebäuden auf den Leitungsstangen montiert; oft wendet man auch Inductionsspiralen an, um das Rückschlagen ins Gebäude zu vermeiden.

Hauptbedingung für das gute Functionieren aller Blitzschutzvorrichtungen ist die Herstellung guter Erdleitungen.

9. Schaltbretter. Dieselben dienen dazu, um sowohl die Vertheilung der für die verschiedenen Stromconsumstellen nothwendigen Elektricitätsmengen, als auch die Anbringung der zuvor geschilderten Mess-, Control- und Sicherheitsapparate zu gestatten. Sie bilden sonach ein Zwischenglied zwischen dem Generator und der Verbrauchsstelle. Die Schaltbretter sind je nach ihren Zwecken verschieden, oft sehr luxuriös ausgestattet.

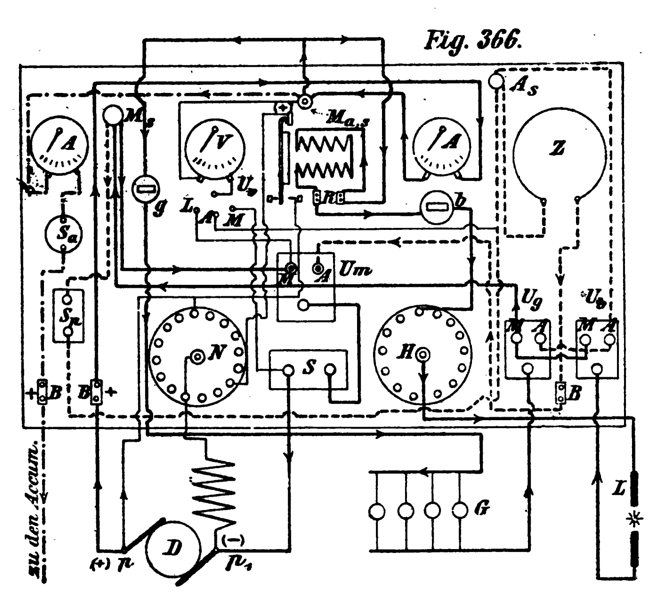
Bei einfachen Anlagen findet sich meist nur zunächst der Dynamomaschine ein „Maschinenschaltbrett", während bei größeren Anlagen nebst diesem (auch Hauptschalter genannten) Schaltbrette noch „Vertheilungsbretter" an gewissen, örtlich verschieden gelegenen Vertheilungs-

punkten vorhanden sind, von welchen die einzelnen Vertheilungsleitungen abzweigen.

Auf einem Schaltbrette sollen die Stromverhältnisse der Anlage übersichtlich dargestellt sein. Es soll leicht zugänglich montiert werden und gestatten, die Vorgänge in der Maschinenanlage gut überblicken zu können.

Auf dem Schaltbrette haben Platz zu finden: alle nothwendigen Leitungsverbindungen zwischen der Maschinenleitung und der Außenleitung,

Fig. 366.



also Leitungs- (Sammel- und Vertheilungs-) Schienen, Polklemmen, Aus- und Umschalter, Polwechsler und Commutatoren; ferner die Messapparate (Ampèremeter, Voltmeter, Elektricitätszähler), Signalapparate, Erdschlussprüfer, Bleisicherungen u. s. w.

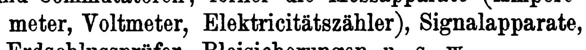


Fig. 367.

Die Vertheilungsbretter enthalten meist Ausschalter, Sicherungen, sowie manchmal auch Messapparate (Elektricitätszähler).

Je größer eine Anlage ist, umso complicierter werden diese Schaltbretter werden, und erlangen insbesondere durch ihre Verbindung mit Widerstandsregulatoren, Zellenschaltern, Automaten etc. oft eine stattliche Größe.

Als Beispiel ist in den Figuren 366, 367 die Schaltbrettanordnung für eine Gleichstromanlage, u. zw. für eine gemischte Beleuchtung (Bogen- und Glühlicht) bei Parallelbetrieb einer Dynamomaschine und von Accumulatoren gegeben. Das Schema für die Schaltbrettausführung in Fig. 366, ist in der Fig. 367 übersichtlich zusammengestellt. Nach diesem Schema kann

a) die Dynamomaschine *D* entweder auf die Lichtanlage allein, oder auf die Accumulatoren allein geschaltet werden, oder es können



b) die Dynamo und die Accumulatoren auf die Lichtanlage gleichzeitig, oder aber

c) die Accumulatoren für sich auf die Lichtanlage geschaltet werden.

In den beiden Figuren bedeutet:

D die Dynamomaschine, *B* eine Bleisicherung, *A* ein Ampèremeter, *S* einen automatischen Ausschalter, S_p einen Schalter für die Parallelschaltung, *V* ein Voltmeter, U_v einen Umschalter für das Voltmeter, welcher durch die Contacte *A, M, L* (Fig. 366) gestattet, das Voltmeter auf die Accumulatoren, Maschine oder die Lampenleitung zu schalten; U_m einen Umschalter, um die Maschine *D* mit der Außenleitung (Beleuchtungskörper) oder mit den Accumulatoren zu verbinden. Z_l ist ein Zellenschalter für die Ladung, Z_e ein solcher für die Entladung. Beide zusammen bilden einen „Doppelzellenschalter“ der gestattet, die Spannung in der Accumulatorbatterie bei der Ladung und Entladung entsprechend zu regulieren. A_s, M_s, M_{as} sind Klemmenverbindungen. U_g ist ein Umschalter für das Glühlicht, welcher mittels Contactes *A* den Accumulatorstrom, mittels Contactes *M* den Maschinenstrom in die Glühlampen zu schicken gestattet. Das analoge bewirkt auch der Umschalter U_b, welcher gleichfalls die Contacte *A, M* besitzt. *G* bedeuten Glühlichter, *L* das Projectionslicht; ferner *R* das Relais, *H* den Hauptstromrheostaten, *N* den Nebenschlussrheostaten.

Infolge der in Fig. 366 gezeichneten Schaltungsweise kann:

a) bei der Stellung des Umschalters U_m auf den Contact *M* und bei Schließung des Schalters *S*, bezw. Offenhaltung des Schalthebels S_p, der Maschinenstrom direct auf das Bogenlicht oder Glühlicht arbeiten, u. zw. je nachdem von U_b oder U_g die bezüglichen Schalthebel auf *M* eingestellt sind;

b) sind die Schalter S_p, U_g, U_b geöffnet und wird der Schalter U_m auf Contact *A* gestellt, so kann die Accumulatorbatterie durch die Dynamomaschine geladen werden;

c) ist Schalter U_m auf *M* und der Schalter S_p geschlossen, so kann bei der Stellung von U_g und U_b auf dem Contacte *A* die Beleuchtung von der Maschine und der Batterie gleichzeitig betrieben werden (Parallelbetrieb), oder es kann bei entsprechend niederem Druck der Accumulatorbatterie und Unterbrechung der Bogenlichtleitung die Batterie während der Activierung der Glühlampenbeleuchtung mitgeladen werden. Endlich kann

d) bei Öffnung von *S*, dann Schließung von U_g auf *A*, die Accumulatorbatterie auf die Glühlichtbeleuchtung entladen werden.

In der Fig. 368 ist das Schaltbrett einer größeren Wechselstromanlage schematisch dargestellt.

Die Erregermaschine *D* besitzt ihren Nebenschlussrheostaten *w*, welcher mit dem Widerstande *R* des Automatrheostaten *K* hintereinander geschaltet ist. Der von zwei Maschinen *D* gelieferte Strom ist mittels der zweitheiligen Kurbelschalter *a* auf die Sammelschiene *e e* geschaltet, und kann die Stromabgabe am Ampèremeter *A* abgelesen werden. *V* ist ein Voltmeter zur Regulierung der Betriebsspannung.

Die Wechselstrommaschinen W_1 W_2 empfangen den Erregerstrom für ihre Magnete von den Sammelschienen *e e*; dieser Erregerstrom kann nach Bedarf für jede einzelne Maschine mittels der vorgeschalteten Kurbelrheostate r_1 r_2 reguliert und an den zugehörigen Ampèremetern A_1 abgelesen werden. Der erzeugte Wechselstrom geht von jeder Maschine zunächst zu einem

Ampèremeter A_2 und von da entweder zu einem linksseitigen oder zu einem rechtsseitigen Quecksilberausschalter Q_1 Q_2, bezw. Q'_1, Q'_2. Mittels letzterer kann jede der Wechselstrommaschinen an die Hauptsammelmaschine L, von welchen die Kabel k abzweigen, angeschlossen werden, mittels ersterer jedoch auf den Belastungsrheostaten R^1 geschaltet werden.

Für die Parallelschaltung der Wechselstrommaschinen wird die Phasengleichheit durch die Belastung der neu hinzuschaltenden Maschine mittels des Ersatzrheostaten R^1 erzielt, und es wird der Zustand der Phasengleichheit

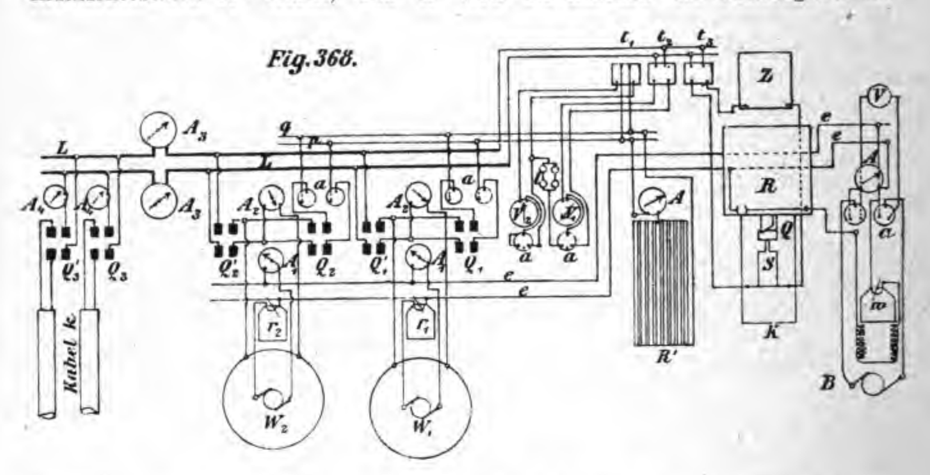


Fig. 368.

an einem, aus einer Glühlampengruppe bestehenden Phasenindicator l constatiert. Die Kabel k für die Lichtvertheilung sind mittels der Quecksilberausschalter Q_3 Q'_3 an die Sammelschienen L angeschlossen.

In der Figur bedeuten noch: A_3 A_4 Ampèremeter, a Ausschalter, V_1 V_2 Voltmeter; die Spannung für V_1 V_2 wird durch die kleinen Reductionstransformatoren t_1 t_2 entsprechend reduciert; t_3 ist ein Reductionstransformator für den Automatrheostaten K, und L ein Zusatzwiderstand; p q sind Sammelschienen, mit welchen der Belastungswiderstand R^1 verbunden ist.

In der Fig. 369 ist das Schaltbrett für eine Drehstromanlage dargestellt. Dasselbe enthält die Sammelschienen 1, 2, 3 und I, II, III, an welchen zwei parallel zu schaltende Drehstrommaschinen (M_1 M_2) angeschlossen werden. a a_1 a_2 sind dreipolige Ausschalter mit Bleisicherungen, A_1 A_2 Ampèremeter W_1 W_2 Wattmeter mit den Zusatzwiderständen v; F bedeutet die Fernleitung.

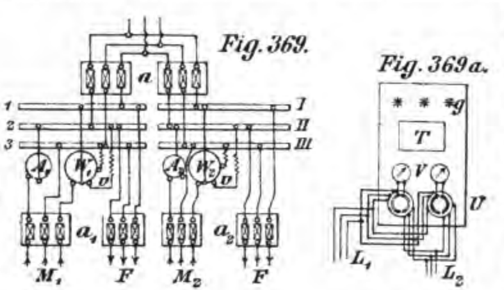


Fig. 369. Fig. 369a.

Derlei Schaltbretter enthalten außerdem noch die Apparate für die Regulierung der Gleichstrom-Erregermaschine, sowie Spannungsanzeiger und Phasenindicatoren (Fig. 369 a). Letztere bestehen aus einem kleinen Doppeltransformator T, dessen primäre

Wicklungen an die Maschinenpole angeschlossen sind und dessen secundären Wicklungen im entgegengesetzten Sinne die drei hintereinander geschalteten Glühlampen g speisen.

Haben beide Maschinenspannungen gleiche Phase, so heben sich die elektromotorischen Kräfte der secundären Wicklungen auf und die Lampen erlöschen. Es müssen bei richtiger Verbindung der Maschinenpole stets alle drei Lampengruppen des Phasenvergleichers gleichzeitig aufleuchten oder erlöschen. Diese Phasenvergleicher enthalten noch zwei Umschalter U mit je zwei Metallstreifen und zahlreichen Contactknöpfen. Je zwei diametral gegenüberstehende Contactknöpfe sind mit den Enden einer Hilfswicklung verbunden, und außerdem zeigen Spannungsmesser V die Spannung in der Hilfswicklung jeder Maschine an. Das Parallelschalten erfolgt, sobald durch die Anzeige auf Null, bezw. durch das Erlöschen der Glühlampen angezeigt wird, dass in den Hilfswicklungen und dementsprechend im Hauptstrom (L_1 L_2) Phasengleichheit herrscht.

1. Die Leitungen.

1. Wesen derselben, Material, Form und Isolation der Leiter.

Diese dienen dazu, die Elektricitätserzeuger (Generatoren) mit den Verbrauchsapparaten zu verbinden. Im wesentlichen bestehen sie aus elektrisch leitenden Körpern (Metall-Drähten, -Seilen, -Stangen etc.), welche zur Vermeidung von Elektricitätsverlusten mit isolierenden Körpern umgeben sind, oder an solchen befestigt werden. Gewöhnlich ist eine Elektricitätsquelle durch zwei Leitungen — Hin- und Rückleitung — mit dem Verbrauchsapparate verbunden. Beide Leitungen können entweder aus metallischen Leitern bestehen, oder aber es kann eine durch die Verbindung mit der Erde ersetzt werden (Erdleitung).

Für starke Ströme, wie solche z. B. bei Beleuchtungsanlagen vorkommen, wendet man wegen der Gefahren, welche Erdrückleitungen insbesondere bei Wechselströmen besitzen, keine Erdleitungen an.

Bei Erdleitungen wird die Verbindung mit der Erde mit Hilfe großer Metallplatten (aus Eisen, Zink, Kupfer) hergestellt, welche in das Wasser oder in eine wasserhältige (feuchte) Bodenschichte versenkt werden. Man kann jedoch auch Wasser- oder Gasleitungsröhren zur Herstellung von Erdleitungen benützen. Wichtig für Erdleitungen ist die variable Größe des Übergangswiderstandes zwischen der Erdplatte und der Erde, während der elektrische Widerstand, welchen die Erde darbietet, unabhängig von der Entfernung zu sein scheint. Grundsatz für eine jede Erdleitung ist die Herstellung eines möglichst geringen Übergangswiderstandes.

Man gebraucht nun zahlreiche Substanzen zu elektrische Leitungen; indess werden das Kupfer und dessen Legierungen am meisten in der Praxis verwendet. Elektrolytisch reines Kupfer verwendet man zu allen isolierten Leitungen, zu den Spulen der Verbrauchsapparate etc., während zu jenen Leitungen, welche einem starken Zuge ausgesetzt sind, Legierungen des Kupfers mit Phosphor oder Silicium verwendet werden.

Das Eisen (Stahl) wird fast nur in der Telegraphie gebraucht.

Das Messing wird zu Contactplatten für Ausschalter, Commutatoren u. dgl. m., das Neusilber und Ferronickel u. dgl. m. zu Widerstandsspiralen, die Kohle zu Schleif- und anderen Contacten, an welchen starke Funkenbildungen auftreten, dann für Flüssigkeitsrheostate gebraucht.

Die weitaus größte Zahl der Leiter hat die cylindrische Gestalt. Man bezeichnet die Leitungsdrähte unter 7*mm* Durchmesser, welche aus einem einfachen Drahte bestehen, kurzweg als „Draht", während die Leiter über 7*mm* Dicke aus mehreren zusammengeflochtenen Drähten gebildet werden und „Kabel" heißen.

Die Zahl der Drähte in einem Kabel variiert beträchtlich, u. zw. je nachdem man dem Kabel eine gewisse Elasticität geben will oder nicht. Meist besitzen die Kabeldrähte eine Stärke von 0·2 bis 2·5*mm*.

Um einen Contact der Stromleiter mit leitenden Unterstützungstheilen zu vermeiden, umhüllt man die Leiter mit wenig leitenden Substanzen, d. h. mit einem Isoliermittel. Je nach dem letzteren, dann nach der Dicke und Art der isolierenden Schicht ist die Isolation mehr oder wenig gut. In Bezug auf die Isolation unterscheidet man in der Industrie.

a) schwache (leichte) Isolation, bei welcher Seide und Baumwolle in Form von Fäden, Bändern, Umklöppelungen, paraffiniert oder getheert, angewendet wird.

Die Unterstützung solcher mit Gespinnstisolation umgebenen Leiter kann durch Porzellan-, Ebonit-, Holz-, Schiefer- und anderen Unterlagen verschiedenster Form (Glocken, Knöpfe, Rollen, Platten) bewirkt werden. Leicht isolierte Leiter können nur in ganz trockenen Räumen verwendet werden.

b) Mittlere Isolation, bei welcher ein oder zwei Lagen vulcanisierten Kautschuks, welche entsprechend umbändert oder umklöppelt auf dem Leiter aufgebracht sind. Diese Isolation, in Hausinstallationen angewendet, soll einer nicht excessiven Hitze und Feuchtigkeit widerstehen.

c) Hohe Isolation, bei welcher der Leiter mit zwei bis drei Lagen von Guttapercha und darüber mit zwei bis drei Lagen von gummierten Bändern versehen wird. Derartig isolierte Kabel müssen einer completen Eintauchung ins Wasser widerstehen.

In Leitungsnetzen soll der Isolationswiderstand, gegen die Erde oder zwischen Partieen derselben Leitung, u. zw. insoweit Spannungsdifferenzen vorkommen, mindestens: $W = 5000 \cdot \frac{E}{J}$ Ohm betragen, wenn E die zwischen den fraglichen Punkten mögliche, maximale Spannungsdifferenz in Volt, J die Stromstärke (in Ampère) bedeutet.

Zum Schutze der Isolation bedeckt man weiters die Kabel noch

d) mit einer Bleihülle — Bleikabel, — oder über diese

e) noch mit einer Schichte aus Eisendraht oder Eisenbändern, armierte oder gepanzerte Kabel.

Hinsichtlich der vorangeführten Isolationsmittel ist zu bemerken, dass der Kautschuk gegenüber der Guttapercha den Vortheil eines höheren Schmelzpunktes besitzt und sich im vulcanisierten Zustande wenig an der Luft verändert. Hingegen nimmt Kautschuk unter Druck Wasser bis zu 25% auf. Er muss daher für unterirdische Leitungen durch undurchdringliche Stoffe

geschützt werden. Um die schädliche Einwirkung des Schwefels auf die Kupferader zu vermeiden, verzinnt man die Kupferader in der Regel.

Die Guttapercha ist ein vom Wasser wenig durchdringlicher Stoff, der bei Wärme (37° C.) jedoch bald weich wird, weiters keine Adhäsion zum Kupfer hat und in der Luft hart und brüchig wird. Man bringt üblich zwischen der Guttapercha und dem Leiter einen Cement (*Chatterton compound*) an. In Amerika hat man auch versucht, flüssige Dielektrica (z. B. Petroleum in Röhren) zu verwenden. Dieses System hat sich aber als nicht praktisch erwiesen.

2. Eintheilung der Leitungen. Montage derselben.

Die Leitungen zerfallen:

A. nach ihrer örtlichen Verwendung in:

a) oberirdische, *b*) unterirdische und *c*) submarine Leitungen:

B. nach der angewendeten Stromform in solche für Wechsel-, und für Gleichstrom;

C. nach der Zahl der Kupferseelen in einfache, doppeladerige, mehraderige;

D. nach der Art der Stromleitung in Speise- oder Haupt-, Vertheilungs-, und Zweigleitungen;

E. nach dem Zwecke, in solche für Stark- und Schwachströme (für Beleuchtungsanlagen, bezw. Telephon- und Telegraphenanlagen), endlich in Leitungen für besondere Zwecke.

ad *a*) Die oberirdischen Leitungen, welche nach denselben Grundsätzen, wie im Telegraphenbau, hergestellt werden, können sowohl im Freien, wie in geschlossenen Räumen verwendet werden. Sie bestehen in der Regel aus blanken Kupferdrähten, welche 40 bis 70*cm* von einander entfernt, an entsprechenden Porzellan- (oder auch Glas-) Isolatoren mittels entsprechenden Bindedrahtes befestigt werden. Die Luft und das Porzellan (Glas) sind hier die Isoliermittel. Blanke Drähte sollen im Freien mindestens 3·5*m* über die Erdoberfläche geführt werden.

Die Isolierglocken (Fig. 370) werden an eisernen Isolierträgern *t* (Fig. 371) befestigt, und letztere an Masten, Consols, Gebäudewände etc. montiert. Sie müssen außen und innen emailliert (glasiert) werden, und erhalten behufs besseren Schutzes gegen das Eindringen von Feuchtigkeit oft die Form einer Doppelglocke.

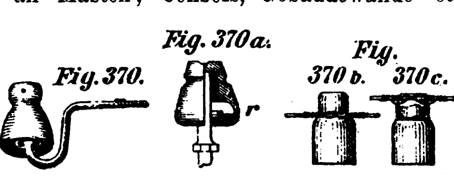


Fig. 370. Fig. 370 a. Fig. 370 b. 370 c.

Zur Befestigung von Leitungen mit hochgespannten Strömen hat man in neuerer Zeit auch Ölisolatoren (Fig. 370 *a*) verwendet, welche den Zweck haben, die Verbindung zwischen der Leitung und der eisernen Trägerstütze, hervorgerufen durch eventuelle Feuchtigkeit, durch Anwendung von Ölringen *r* zu hindern.

Sollen blanke Leitungen durch Mauern geführt werden, so müssen an den Einführungsstellen Hartgummi- oder Porzellanrohre *a* (Fig. 371) angewendet werden.

Fig. 371.

Die Befestigung blanker Leitungen an den Isolatoren erfolgt mittels Oberbundes (Fig. 370 *c*) oder Seitenbundes (Fig. 370 *b*).

Die Leitungsstangen werden gewöhnlich auf $^1/_5$ ihrer Länge in den Boden gesetzt und erhalten eine Länge von 6 bis 7*m*. Als normale Spannweite kann je nach der Drahtstärke und Materialbeschaffenheit eine gerade Strecke von 20, 40 bis 60*m* angenommen werden. Das Spannen der Leitungen erfolgt mittels Flaschenzuges und Froschklemmen. Blanke Leitungen sollen, falls zwischen denselben eine Spannungsdifferenz herrscht, in einem horizontalen Abstand von mindestens 15*cm*, im verticalen Abstand von mindestens 30*cm* geführt werden.

Zur Herstellung von Löthungen verwendet man säurefreies Löthwasser und Löthzinn (Blei- und Zinnlegierung). Die Herstellung von Verbindungen (Kuppelungen) erfolgt nach den Figuren 372, 373.



Fig. 372.

Fig. 373.

Leitungen in geschlossenen Räumen. Als Leitungsmaterial verwendet man fast ausschließlich isoliertes Material, u. zw. wählt man die Güte der Isolation je nach den Räumen. Für trockene Räume nimmt man üblich Gespinnstisolation, für feuchte Räume Guttapercha- oder Kautschukisolierung, für Erdleitungen armierte, und für Leitungen in Mauern nichtarmierte Bleikabel.

Ehe auf die Befestigungsart der isolierten Leitungen übergegangen wird, sollen noch früher die Blei-, und armierten Kabel kurz charakterisiert werden.

Bleikabel sind ein- oder mehraderige, mit Compoundmasse, Kautschuk oder Guttapercha isolierte und mit einem Bleimantel umgebene Kabel. Die Erzeugung solcher Bleirohre geschieht auf kaltem oder auf heißem Wege. Nach dem Siemens'schen Verfahren erhalten die Kupferleiter *L* (Fig. 374) zuerst eine Bespinnung mit Jute *g* von wechselnder Stärke, sodann nach Austrocknung der Bespinnung (unter der Luftpumpe) eine Tränkung mit einer besonderen Isoliermasse, und endlich die Umpressung der so erzeugten Isolierschicht mit einem vollkommen wasserdichten Bleimantel *b*. Siemens & Halske fertigen solche Kabel (Patent-Bleikabel) für Spannungen von 250 bis 3.000 Volt an.

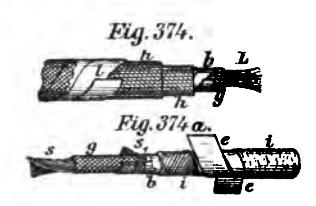


Fig. 374.

Fig. 374 a.

Die Weichheit des Bleis und seine chemischen Eigenschaften bedingen aber je nach dem Verwendungsorte noch eine besondere Schutzhülle und infolge dessen erhalten Bleikabel entweder noch eine Umspinnung von imprägnierter Jute *h* und eine Schichte von verzinkten Eisendrähten (drahtarmierte Bleikabel), oder von Bandeisen *l* (bandarmierte Bleikabel).

Die Fig. 374 zeigt ein einfach armiertes Kabel, wo auf der Bleischichte *b* noch zwei Gespinnstlagen *h* und sodann die Eisenbandlage *l* aufgebracht ist, die wieder eine Gespinnstabdeckung erhält.

Die Bleikabel können als einfache, doppelte, oder mehraderige, sowie als concentrische Kabel (Fig. 376) ausgeführt werden. In der Fig. 374*a* ist ein concentriertes Kabel dargestellt, wobei $s s_1$ die zwei Leiter, *g* und *i* Gespinnstisolationen, *b* die Bleihülle und *e* die Eisenbandarmierung bedeuten.

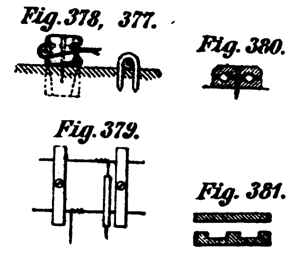
Fig. 376.

Der Isolationswiderstand armierter Kabel beträgt 1 bis 1.000 Millionen Ohm pro 1*km* Länge.

Hinsichtlich der Befestigung isolierter Leitungen ist zu erwähnen, dass die Leitungen fixiert werden können:

α) in einfachster Weise mittels sogenannter Drahtkrampen (Fig. 377) auf Holzunterlagen, Mauern etc. Man schützt sie dann zweckmäßig noch durch Zwischenlagen von Gummischlauchstücken;

β) mittels Isolierknöpfen (Fig. 378) oder Isolierrollen, ferner mittels Isolierglocken. Zum Festbinden auf den Knöpfen etc. dient ein Bindedraht. Die Entfernung der Knöpfe beträgt 0·50 bis 1*m*. Isolierglocken wendet man meist in feuchten Räumen an.


Fig. 378, 377. *Fig. 380.* *Fig. 379.* *Fig. 381.*

γ) durch Verlegen mittels Klemmen 379, 380;

δ) durch Verlegen in hölzernen Nuthleisten (Fig. 381) für ganz trockene Räume (Wohnungen, Magazine etc.);

ε) durch Verlegen in mit Asphalt ausgegossenen Holzkästen (in Mauern etc.), endlich

η) durch Verlegen in Papierröhren. Dort, wo isolierte Leitungen durch Mauern geführt werden, müssen ebenfalls Glas-, Porzellan- oder Hartgummiröhren in die Mauerbohrung eingesetzt werden (Fig. 371). Isolierte Drähte sollen von parallel laufenden mindestens 40*mm* entfernt sein; bei besonders gut isolierten Drähten kann diese Distanz entsprechend vermindert werden.

Die Verbindung isolierter Leitungen geschieht nach Befreiung der Verbindungsenden von der Isolation in der, in den Figuren 372 und 373 angedeuteten Weise. Die Fig. 373 zeigt eine Verbindungsweise für schwache Drähte (durch Zusammenwürgen), die Fig. 372 eine solche für stärkere Drähte (durch Kupferbindedraht). Litzen werden mit ihren Enden verflochten; Abzweigestellen mit schwächeren Drähten (Fig. 379) durch Umwinden der Hauptleitung, oder durch Umwindung mit Bindedraht hergestellt.

Die zerstörte Isolationsstelle muss durch Aufwickeln von Isolierbändern (mit Gutterpercha, Chatterton etc.) wieder gut isoliert werden.

ad *b*) Unterirdische Leitungen werden entweder in Canälen (Tunnelsystem), oder in Röhren (Einziehsystem), oder direct in die Erde (oder in die See), oder auch in getheerten Holzrinnen verlegt (festverlegte Leitungen). Beim Tunnelsysteme werden die Drähte auf Isolatoren, beim Einziehsysteme in eisernen Röhren oder in Canälen aus Cement etc. geführt.

Für die in die Erde verlegten unterirdischen, sowie für die submarinen Leitungen werden nur Panzerkabel angewendet. Unterseeische Kabel erhalten üblich eine doppelte Gummi-Isolation und doppelte Drahtbewicklung. Bei der Verlegung der armierten Kabel unter der Erde werden die Kabel in mit Sand

ausgefüllte Rinnen gelegt und mit Ziegelsteinen überdeckt. Die Verbindung solcher Kabel muss mit Rücksicht auf die Nothwendigkeit, die Isolierhülle vor Feuchtigkeit zu schützen, eine sehr sorgfältige sein, und werden bei armierten Leitern einerseits die Kabelenden mit entsprechenden, besonders construierten Endverschlüssen (Fig. 382, 383) versehen, anderseits die Längen- und Abzweigeverbindung durch Verbindungsmuffen bewirkt.

Fig. 382.

Fig. 383.

Die Endverschlüsse sind aus vulcanisiertem Gummi hergestellt und sind verschieden, je nachdem die Bleikabel massive Leiter (Fig. 382) oder litzenförmige Leiter (Fig. 383) besitzen. In der Fig. 382 bedeutet *a* den Theil, welcher den Kupferleiter umschließt; der Theil *b* legt sich um das Blei und umgibt die Isolationshülle, und der Theil *c* wird über die Asphaltierung gezogen.

In der Fig. 383 ist *v* ein verzinntes, mit einem massiven Ansatze *V* und einem Gummischlauch versehenes Messingrohr; der Gummischlauch umschließt dicht das Rohr *v*. *S* sind Klemmschrauben.

Die Fig. 384 zeigt eine „Verbindungsmuffe“, welche in einem mit einem Deckel versehenen gusseisernen Gehäuse *G* die Endverschlüsse e_1 e_2 e_3 enthält. Die Kabelseelen sind durch Klemmen verbunden. Die Laschen *L* dienen zur Aufnahme der Mutterschrauben, mit welchen das Gehäuse und der Deckel fest verbunden werden. Die Abdichtung der Kabel nach außen geschieht durch Jutegarn-Umwicklung und wird das Gehäuse sodann mit einer Isoliermasse ausgegossen. Es gibt verschiedene Muffenmodelle (für Einfach-, Doppel-, Dreifach-Lichtkabel, Telegraphenkabel etc.).

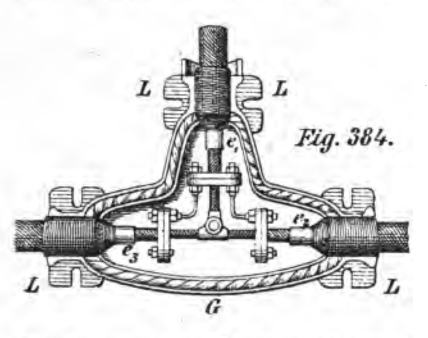


Fig. 384.

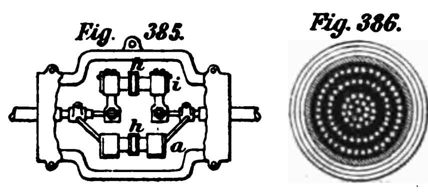
Für Abzweigungen dienen eigene Abzweige- und Einschaltmuffen, ferner Kreuzmuffen, endlich für die Verbindung vieler Vertheilungsleitungen mit einer Speiseleitung die Vertheilungskasten. Die letzteren sind für Luftisolation oder für Isolieröl-Füllung eingerichtet. Derlei complicierte Schaltapparate, welche zu ihrer Montierung ein besonders geschultes Personale erfordern, kommen jedoch nur bei größeren (städtischen) Beleuchtungsanlagen vor.

Die Verbindung der elektrischen Verbrauchsapparate mit den Leitungen erfolgt meist durch Verschraubung aller Art.

Bei Wechselstromleitungen werden die Primär- und die Secundärleitungen entweder als Luftleitungen (oberirdisch), oder bei städtischen Centralen, dann bei Zuleitungen zu den Consumenten als unterirdische, geführt.

Die beiden Leitungen sind meist in einem einzigen concentrischen Kabel vereinigt (Fig. 376). Als Stützpunkte für die Luftleitung dienen sowohl bei oberirdischer Leitung, als auch bei Führung der Leitung in Canälen gewöhnliche Isolierglocken auf Säulen, oder bei sehr hoher Spannung Flüssigkeits-Isolatoren.

Die Abzweigungen von unterirdisch verlegten, primären Kabeln werden in speciellen Schaltkästen (Fig. 385) bewirkt, welche wieder, je nach ihrer Verwendungsweise, „Verbindungs"-, „Abzweigungs"- oder „Kreuzungskästen" sein können. In der Fig. 385 bedeutet i den inneren, a den äußeren Leiter des concentrischen Kabels, dessen Enden durch Verbindungscontacte h mit einander verbunden werden.



In den Häusern werden die secundären Leitungen auf Porzellanrollen oder in Nuthenleisten (über oder unter dem Verputz) geführt. Die Fig. 278 zeigt die Einmündung einer unterirdisch geführten Leitung in den Transformator T.

Beim Mehrphasenstrom, z. B. beim Dreiphasenstrome führen die Hochspannungsleitungen entweder oberirdisch als gewöhnlicher, blanker Draht über Ölisolatoren, oder unterirdisch als isoliertes Kabel, u. zw. in der Form von dreifach concentrischen Patent-Bleikabeln (Fig. 386).

3. Berechnung der Leitungen.

Wie Seite 64 erörtert, setzt sich bei der Fortführung eines elektrischen Stromes ein Theil der elektrischen Energie in Wärme um, und der Leiter wird sich erwärmen. Diese Wärmemenge ($W = i^2 r$) hängt von der Stromstärke und dem Widerstande ab; letzterer wieder von den Dimensionen des Leiters, so dass also diese und die Stromstärke die Wärme bestimmen. Gleichzeitig tritt bei der Fortführung des Stromes aber auch ein Spannungs- (Druck-) Verlust auf, der ebenfalls von i und r abhängig ist ($e = i r$). Letzterer Verlust beeinflusst gleichzeitig stark den Kostenpunkt der Leitungen.

Ist nun eine bestimmte, elektrische Energie fortzuleiten, so muss der Leitungsquerschnitt derart festgesetzt werden, dass die Erwärmung und der Spannungsverlust ein begrenzter wird.

Mit Bezug auf die zulässige Erwärmung bestimmt die Erfahrung, dass mit Rücksicht auf die Feuersicherheit, die Temperaturerhöhung der Drahtoberfläche beim Durchfließen eines elektrischen Stromes die mittlere Umgebungstemperatur um mehr als 20° C. nicht überschreiten soll. Dies bedingt eine gewisse Strombelastung pro Einheit der Querschnittsfläche. Die Maximalbeanspruchung eines Drahtes pro Querschnittseinheit hängt wesentlich mit der Stärke des Leiters zusammen. Während ein 1 *mm* starker Draht von reinem Kupfer pro mm^2 mit 8·5 Ampère beansprucht werden kann und sich hiebei um 17° über die Lufttemperatur erwärmt, vertragt z. B. ein 4·5 *mm* starker Draht nur 4 Ampère pro mm^2 und erwärmt sich hiebei ebenfalls um 17° über die Lufttemperatur.

Hinsichtlich des Spannungsverlustes bewirkt ein größerer Querschnitt — also theuere Leitungen, — einen kleineren, und ein kleinerer Querschnitt — also billigere Leitungen, — einen größeren Spannungsverlust. In der Regel lässt man bei Bogen- und Glühlichtanlagen den allgemeinen Spannungsverlust 10% der Maschinenklemmenspannung [1]) nicht übersteigen.

[1]) Bei Einzellichtanlagen auch bis 20% in der Belastung. Die mittlere Beanspruchung eines Kabelnetzes einer Centrale beträgt etwa 15% der Maximalleistung.

Der Spannungsverlust innerhalb eines Vertheilungssystems soll höchstens 3% betragen. (Einen Spannungsunterschied von 2 bis 3% wird man in der Lichtstärke nicht wesentlich bemerken.)

Hat man sonach eine einfache Leitung zu berechnen, so muss beiden Factoren (dem feuersicheren und wirthschaftlichen) Rechnung getragen werden. Man setzt hiebei die Länge (Hin- und Rückleitung), sowie die Stromstärke als gegeben voraus; erstere entnimmt man den Plänen oder misst sie direct ab; letztere ermittelt man aus der Anzahl der vorhandenen Verbrauchsapparate und deren Stromverbrauche, sowie aus dem angewendeten Leitungssysteme.

Hiezu wird noch bemerkt, dass hinsichtlich der Auswahl entsprechender Querschnittsform die Fabrikation übereingekommen ist, bestimmte Querschnittstypen anzufertigen. Entspricht also der gerechnete Querschnitt nicht ganz einer Type, so nimmt man stets jene mit höherem Querschnitte als solchen die Berechnung ergibt.

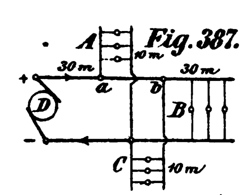
Bei großen und verzweigten Leitungsanlagen kommt aber außer dem verursachten Energieverluste noch der Ankaufspreis und die Anlagekosten in Rechnung zu ziehen, und man strebt diese möglichst zu reducieren. Hiedurch gelangt man zu complicierten Rechnungen, welche zu vereinfachen eine Reihe analytischer oder graphischer Methoden von rationellen Leitungsermittlungen bezweckt. Diese Methoden (von Thomson, Hochenegg, Feldmann etc.) werden gegenwärtig in der Praxis vielfach benützt, müssen jedoch hierorts der Kürze wegen übergangen werden [1]).

Beispiele: 1. Es sei der Querschnitt eines 300*m* langen Kupferkabels für ein Vorfeldlicht von 80 Ampère zu bestimmen.

Da der Spannungsverlust 15% der mit 70 Volt festzusetzenden Maschinenklemmenspannung, d. i. rund 10 Volt betragen kann, so ist nach dem Ohm'schen Gesetz 10 Volt = 80 Ampère . x Ohm.

Der Widerstand ist: $x = \frac{10}{80} = 0{\cdot}125$ Ohm. Letzterer ist aber $0{\cdot}125 = \frac{0{\cdot}017 \times 2 \times 300}{F}$, woraus $F = 85 mm^2$ oder $r = 10{\cdot}5 mm$ resultiert.

In Bezug auf die Strombelastung entfallen pro mm^2 Querschnittsfläche $\frac{80}{85} \doteq 0{\cdot}9$ Ampère, was den Forderungen des feuersicheren Querschnittes vollkommen entspricht.



2. Es sollen die Leitungsstärken einer durch das Schema Fig. 387 dargestellten, kleinen Glühlichtanlage eines fortificatorischen Werkes berechnet werden. Die Gesammtzahl der Lampen beträgt 25, welche sich auf die drei Vertheilungsleitungen *A*, *B* und *C* vertheilen.

Die Klemmenspannung der Dynamo beträgt 70 Volt.

Die Berechnung zerfällt in jene für die „Hauptleitung" und in jene für die „Vertheilungsleitungen".

a) Als Hauptleitung gilt die Strecke von der Dynamomaschine *D* bis zu jenem Punkte (Vertheilungspunkt) *a*, *b*, von welchen die Vertheilungs-

[1]) Kabelnetze werden derart berechnet, dass die Betriebskosten (Kosten des Verlusteffectes mehr Verzinsung der Anlagekosten) ein Minimum werden.

leitungen A, B und C ausstrahlen. Nachdem die einzelnen Vertheilungsleitungen nahe bei einander abgezweigt werden sollen, wirkt der in der Hauptleitung auftretende Spannungsverlust auf alle in gleicher Weise. Die 25 Stück 65voltigen, 16kerzigen Glühlampen à 0·8 Ampère geben eine Stromstärke von 20 Ampère. Nimmt man eine maximale Beanspruchung der Hauptleitung von 3 Ampère pro mm^2 an, so ergibt sich ein nothwendiger Querschnitt von rund $7mm^2$, d. i. rund $3mm$ Drahtdurchmesser. Der Widerstand der Leitung ergibt sich mit: $w = \frac{0 \cdot 02 \times 2 \times 30}{7} = 0 \cdot 17$ Ohm; sonach wird der Spannungsverlust $e = 0 \cdot 17 \times 20 = 3 \cdot 4$ Volt betragen.

b) Vertheilungsleitungen. Nachdem der Spannungsverlust in den Vertheilungsleitungen von der Zahl der durch sie gespeisten Lampen abhängig ist und dieser Verlust unter allen Umständen nie mehr als $2\%_0$ variieren soll, da sonst beim Ausschalten von Lampen die übrigen noch brennenden Lampen derselben Leitung merklich beeinflusst werden, so wird hier nicht von der Beanspruchung des Leitungsquerschnittes, sondern von dem zulässigen Maximum des Spannungsverlustes in der Vertheilungsleitung ausgegangen, und erst nach Abschluss der Rechnung nachgesehen, ob nicht die Grenzen der Feuersicherheit überschritten sind, was übrigens nur bei ganz kurzen Leitungen und bei Annahme eines zu hohen Spannungsverlustes vorkommt.

Leitung A. Gegeben: $50m$ Länge, 4 Lampen. Die Stromstärke ist $4 \times 0 \cdot 8 = 3 \cdot 2$ A.

Nach einer, aus den beiden vorangewendeten Formeln (für Widerstand und Spannungsverlust) zusammengezogenen Formel ergibt sich der Querschnitt q_1 der Leitung für $2\%_0 = 1 \cdot 4$ Volt Verlust, wie folgt:

$$q_1 = \frac{3 \cdot 2 \text{ A.} \times 2 \times 50m \times 0 \cdot 02}{1 \cdot 4} = 4 \cdot 5mm.$$

Leitung B. Gegeben: $30m$ Länge, 15 Lampen. Die Stromstärke $= 15 \times 0 \cdot 8 = 12$ A. und $q_2 = \frac{12 \,.\, 2 \,.\, 30 \,.\, 0 \cdot 02}{1 \cdot 4} = 10mm^2$.

Leitung C. Gegeben: $10m$ Länge, 4 Lampen. Die Stromstärke $= 4 \times 0 \cdot 8 = 3 \cdot 2$ A. und $q_3 = \frac{3 \cdot 2 \times 2 \times 10 \times 0 \cdot 02}{1 \cdot 4} = 0 \cdot 9mm^2$.

In allen Fällen wird nun der möglichst höhere Querschnitt einer Tabelle „couranter Drahtarten" entnommen, welche jede elektrotechnische Firma besitzt. Der feuersichere Querschnitt wurde in keinem der berechneten Fälle überschritten. Der maximale Gesammt-Spannungsverlust von der Dynamo bis zur letzten Lampe beträgt $3 \cdot 4 + 1 \cdot 4 = 4 \cdot 8$ Volt.

Speist man nun das Voltmeter, welches die Spannung anzeigt, anstatt direct von der Maschine, durch zwei von den Vertheilungspunkten ins Maschinenhaus zurückführende Drähte, so dass es die Spannung, welche am Vertheilungspunkte herrscht, anzeigt, und richtet sich die Maschinenspannung nach dieser Spannung, so beträgt die mögliche Differenz der Spannung an allen Lampen nur 1·4 Volt. Will man dies aber nicht thun und die Spannungsdifferenz von bis 4·8 Volt (als schon etwas viel) nicht zulassen, so ist in diesem Falle die Hauptleitung selbst zu verstärken.

4. Fehler in den Leitungen.

Die Ausführung von Leitungen setzt im allgemeinen eine gewisse Gewandtheit voraus, um Störungen im Betriebe zu vermeiden. Die Leitungen sollen entsprechend ihrer Gattung und nach den örtlichen Verhältnissen verlegt und so übersichtlich geführt werden, dass spätere Reparaturen ohne Schwierigkeiten ausführbar sind. Es sind daher gewisse Erfahrungsregeln maßgebend, die eine gewisse Sicherheit sowohl gegen Betriebsstörungen, als auch gegen eine Feuersgefahr bieten sollen, und deren stricte Einhaltung bei allen Leitungsmontagen gefordert wird.

Die Betriebsstörungen, welche nun durch Fehler in den Leitungen auftreten können, sind sehr mannigfach. Sie können entweder von Haus aus schon vorhanden sein, z. B. bei fehlerhaften Montagen oder durch den Betrieb erst erzeugt werden.

Sie umfassen im wesentlichen:

a) Constructionsfehler, hervorgerufen durch ungenügende Dimensionierung des Leitungsquerschnittes, welche eine zu hohe Strombelastung und damit zu große Erwärmung des Leitertheiles oder einen zu großen Spannungsverlust involvieren.

b) Querschnittsverengungen an einzelnen Leiterstellen oder an Verbindungsstellen (durch Anwendung schlechter Schrauben-, Klemmencontacte oder schlechter Löthungen). Diese, ebenfalls eine Erwärmung bedingenden Verengungen können sich auch im Betriebe durch mechanische oder chemische Einwirkungen bilden, wie z. B. durch Quetschungen, Einreißen von Leitungen (insbesondere in Biegungen), oder durch Einwirkung von Säuren (wie z. B. in Accumulatorräumen oder bei elektrolytischen Bädern), endlich durch die auflösende Thätigkeit des Stromes an Stellen mit Ableitung infolge schlechter Isolierung.

c) Unterbrechungen, welche eine directe Trennung der Stromleiter und damit einen Continuitätsfehler desselben, bezw. das Nichtfunctionieren eines eingeschalteten Verbrauchsapparates in sich schließen.

d) Isolationsfehler. Hierher gehört der „Kurzschluss“, hervorgerufen durch die directe Berührung der Hin- oder Rückleitung eines Stromkreises (z. B. bei Kreuzungen), und der „Erdschluss“, hervorgerufen durch die Ableitung des Stromes zur Erde infolge Aufliegens blanker oder im Laufe der Zeit ungenügend isoliert werdender Leitungstheile an mit der Erde in gut leitender Verbindung stehenden Körpern (Traversen, Gas- und Wasserleitungen, feuchten Mauern etc.). Stehen z. B. bei den elektrischen Apparaten die isolierten Stromleiter mit anderen leitenden Constructionstheilen in Verbindung, so nennt man diesen Erdschluss auch einen „Körperschluss“.

e) Unrichtige Schaltungen bei der Leitungsmontage.

f) Überanstrengungen der Leitungen, z. B. durch zu große Stromstärke bei beispielsweise schlecht regulierenden Lampen.

Die Wirkung vorangeführter Leitungsfehler äußert sich, u. zw. bei den unter *a*, *d*, *b*, *f* genannten, einerseits durch mangelhaftes Functionieren der Betriebsapparate, anderseits durch eine oft starke Erwärmung der Leiter, die bei größerer Intensität unter Umständen selbst zu einer Feuersgefahr führen kann. Es tritt nämlich durch die hohe Stromstärke nicht nur ein Verbrennen

der Isolation, sondern auch ein Glühendwerden und Abschmelzen der metallischen Leitungstheile und damit ein Anbrennen der Umgebungs-, oder Einschließungsmittel ein.

Als Abhilfen gegenüber solchen sehr häufig vorkommenden Fehlern sind zu bezeichnen:

Richtige, sachgemäße, den örtlichen Verhältnissen Rechnung tragende Montage bei richtig gewähltem Leitungs- und Isolationsmaterial, dann Anwendung richtiger Sicherungen.

In Bezug auf die Montage bestehen bis jetzt noch keine gesetzlichen Bestimmungen, doch haben die seitens mehrerer Vereine aufgestellten „Sicherheitsvorschriften" für die Anlage, den Querschnitt, die Isolation, Sicherung der Leitungen u. s. w. bereits allgemeineren Eingang gefunden und muss hier nachdrücklich auf dieselben hingewiesen werden [1]).

5. Die Untersuchung fehlerhafter Leitungen.

Dieselbe umfasst:

a) die Prüfung auf Continuität. Der beste Beweis hinsichtlich des guten Zustandes einer Leitung ist das richtige Functionieren des Verbrauchsapparates. Tritt dies nicht ein, so kann man eine Leitungsunterbrechung vermuthen.

Die Überprüfung auf Continuität geschieht gewöhnlich mit Hilfe von Leitungsprüfern, indem man zwei Punkte eines Leiters, zwischen welchen man den Fehler vermuthet, mit den beiden Enden der Zuleitungsdrähte des Leitungsprüfers berührt. Die Leitungsprüfer sind verschieden. Meist bestehen sie in einfachen Galvanoscopen oder in Klingelwerken. Spielt der Zeiger des Galvanoscopes nicht, oder läutet das Klingelwerk nicht, so ist zwischen den Berührungsstellen eine Unterbrechung vorhanden. Durch Zerlegen der Leitung in einzelne Theile kann man den Fehler auf ein möglichst kurzes Leitungsstück localisieren, um dieses dann genau zu untersuchen. Lässt man also ein Drahtende an der einen Berührungsstelle *a* (Fig. 388) und berührt mit dem anderen die Ende näher zu *a* gelegenen Punkte *c*, *d* der Leitung *ab* (z. B. an Ausschalter, Sicherungen, Klemmenverbindungen oder bloßgelegten Leitungsstellen), so kann man die Fehlerstelle bestimmen. Hiebei ist es selbstverständlich, dass man den zu untersuchenden Stromkreis von allen Elektricitätsquellen oder von benachbarten Leitungen trennt, d. h. dass man, wenn Verbindungsstellen vorhanden sind, diese zuerst löst.

Fig. 388.

b) Prüfung auf Isolation. Infolge ungenügender Isolation oder Zerstörung derselben, können die Leiter entweder untereinander (Kurzschluss) oder mit der Erde in Verbindung treten (Erdschluss).

Die Zerstörung der Isolation kann durch mechanische Beschädigungen oder durch den Einfluss der Wärme, der Feuchtigkeit, durch chemische Einflüsse etc. bewirkt werden.

---

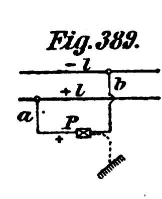
[1]) Dieselben erscheinen in jedem elektrotechnischen Kalender aufgenommen.

Communiciert nur ein Leiter (z. B. der positive Strang) durch einen Isolationsfehler mit der Erde, während der zweite Leiter intact ist, so ist der Betrieb der Apparate nicht wesentlich beeinflusst. Sowie aber beide Leitungen (positive und negative) mit einander oder mit der Erde in Verbindung stehen, tritt nebst größerer Stromerzeugung noch eine mitunter sehr starke Erwärmung an den Fehlerstellen auf. Da sich Isolationsfehler meist erst nach und nach bilden, so schenkt man ihnen meist anfangs wenig Beachtung. Häufiges Messen des Isolationswiderstandes wird aber die Vergrößerung dieses Fehlers und damit dessen Behebung herbeizuführen imstande sein.

Isolationsfehler in Beleuchtungsanlagen können sich fühlbar machen: durch das Nichtfunctionieren der Apparate (Lampen, Motoren etc.), durch die starke Erwärmung der stromliefernden Maschinen, durch die Zerstörung der leitenden Theile (Drähte etc.) bei gleichzeitiger mehr oder minder starker Wärmeentwicklung an den Fehlerstellen.

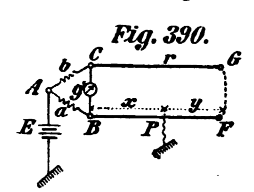
Functioniert die Anlage nicht, so unterbricht man behufs Überprüfung vorerst alle normalen Verbindungen der positiven und negativen Leitung, hebt die Glühlampen aus, trennt die Lichtkohlen und öffnet alle Ausschalter.

Qualitativ prüft man dann das Vorhandensein eines Isolationsfehlers mit Hilfe eines Leitungsprüfers P, wenn man die Enden der beiden Zuleitungsdrähte $a\,b$ (Fig. 389) an je eine Stelle des von einander isolierten positiven und negativen Stranges l, bezw. beim Erdschluss ein Drahtende an einen Leiter $+\,l$, das zweite an die Erde legt. Ein Ausschlag des Galvanoscopes wird einen Isolationsfehler anzeigen. Durch Zerlegen der Leitungen wird es möglich sein, den Fehler dann ebenso zu localisieren, wie bei der Continuitätsprüfung. Man kann Erdschlussprüfungen auch beim Betriebe mit Maschinenstrom ausführen, doch treten hiebei je nach der Größe des Fehlers mehr oder weniger starke Funkenbildungen auf.



Quantitativ kann man den Isolationsfehler durch Widerstandsmessung bestimmen. Hiezu bedient man sich zur directen Messung, bei kleineren Widerständen des Siemens'schen Universalgalvanometers oder kann dieses (eventuell ein Torsionsgalvanometer) nach der Methode des directen Ausschlages für größere Widerstände verwenden.

Bei langen und mehraderigen Leitungen, z. B. bei Telegraphen- oder Telephonlinien, kann eine Berührung mit der Erde, z. B. im Punkte P der Leitung $B\,F$ (Fig. 390), dadurch bestimmt werden, dass man an dem Ende $G\,F$ der Leitung, die beiden Leitungen CG, BF mit einander verbindet und am Anfange CB durch Einschaltung eines Galvanometers g, einer Batterie E und zweier Widerstände a und b eine Wheaston'sche Brücke bildet. Man ändert nun a und b so lange, bis die Galvanometernadel auf Null einspielt. Es muss dann $\frac{b}{a} = \frac{r}{x+y}$ sein; da man nun r und $(x+y)$ kennt, so kann man x und y berechnen.



Eine gleiche Bestimmung, wie am Ende CB macht man auf der Seite GF und nimmt aus beiden Messungen sodann das Mittel.

Die Stromvertheilung.

1. Stromvertheilungs-Systeme.

Die Art der Vertheilung der elektrischen Energie vom Stromerzeuger (also von der Dynamo-Maschine, von den Accumulatoren, galvanischen Zellen etc.) zu mehreren Empfängern oder Apparaten, in welchen der elektrische Strom eine Nutzleistung (Arbeit, Licht, Wärme) vollbringt, ist eine überaus mannigfache, und basieren in der Verschiedenheit dieser Vertheilung die gegenwärtig angewendeten Vertheilungssysteme, welche alle besondere Eigenschaften besitzen, so dass die Natur des speciell zu lösenden Problems jeweilig die Art der anzuwendenden Vertheilungsweise bestimmt. Vom allgemeinen Standpunkte aus kann man die Energievertheilung in folgende Gruppenbildung bringen, u. zw. unterscheidet man:

I. Vertheilungssysteme mit Gleichstrom, welche sich wieder eintheilen lassen, in solche

A. mit directer Stromvertheilung, wenn der Strom ohne Umsetzung verbraucht wird, u. zw. mit

a) constanter Spannung (Parallelschaltung) oder

b) mit constanter Stromstärke (Hintereinanderschaltung);

B. mit indirecter Stromvertheilung, wenn der Strom durch einen Zwischenapparat (Accumulator, Transformator) umgesetzt zu den Verbrauchsapparaten gelangt, u. zw.:

a) unter Anwendung von Accumulatoren, und

b) bei Anwendung von rotierenden Transformatoren. Bei der indirecten Vertheilung sind zwei Stromkreise vorhanden, wovon in dem primären die Stromerzeuger, in dem secundären die Stromabnehmer geschaltet sind.

II. Vertheilungssysteme mit Wechselstrom, u. zw.:

A. mit directer Stromvertheilung bei

a) constanter Stromstärke (Hintereinanderschaltung) und

b) constanter Spannung (Parallelschaltung);

B. mit indirecter Stromvertheilung

a) bei constanter Spannung und

b) constanter Stromstärke.

III. Vertheilungssysteme mit Mehrphasenstrom, u. zw. mit indirecter Stromvertheilung.

Über den Wert dieser verschiedenen Vertheilungssysteme, namentlich soferne ihre Hauptverwendungsart, d. i. ihre Nutzanwendung für die elektrische Beleuchtung in Betracht gezogen werden kann, lassen sich folgende Angaben machen.

ad I. das Gleichstromsystem, welches als das in seinen Details ausgebildetste, bis gegenwärtig das Feld beherrscht hatte, hat ebenso, wie das gerade in letzter Zeit durch Vervollkommnung der Maschinen und sonstigen Einrichtungen vervollkommte Wechselstromsystem, mannigfache Vor- und Nachtheile. Beim Gleichstromsysteme arbeiten die Dynamos ökonomisch und in beliebiger Schaltung. Durch die hiebei verwendete, geringe Spannung ist wenig Gefahr vorhanden. Die Bogenlampen haben einen guten Nutzeffect, und brennen bei guten Reguliermechanismen ruhig und geräuschlos. Die Gleichstrommotoren

haben einen guten Nutzeffect und laufen auch ohneweiters voll belastet an. Die elektrische Energie lässt sich accumulieren und zu elektrolytischen Zwecken benützen. Dagegen hat dieses System gegenüber dem Wechselstromsysteme den Nachtheil, dass die Erzeugungsstätte des Betriebstromes im allgemeinen näher beim Verbrauchsrayon gelegen sein muss als bei letzterem, welche Bedingung insbesondere in Großstädten oft nicht leicht erfüllbar ist.

Die Ausdehnung der Vertheilungsbezirke ist eine beschränktere, wenn man nicht unverhältnismäßig theure Leitungen oder übergroße Verluste haben will. Dieses System ist daher z. B. für wenig bebaute und zugleich ausgedehnte Bezirke zu kostspielig.

ad II. Beim Wechselstromsysteme, u. zw. bei Anwendung von Transformatoren, ohne welchen dieses System wohl kaum heute angewendet werden dürfte, sind als Vortheile anzuführen:

Die Anwendung dünner, also billiger Hauptleitungen bei großer Entfernung der Centrale vom Beleuchtungsrayon. Infolge dessen ist auch der Vertheilungsbezirk nicht mehr so beschränkt, wie beim Gleichstrome, und ermöglicht dieses System die Benützung billiger Naturkräfte auch dann, wenn diese in weiterer Entfernung von dem Beleuchtungsgebiete liegen. Die Regulierung im ganzen Leitungsschema ist einfacher und ohne wesentliche Verluste sicherer, als beim Gleichstrome. Als Nachtheile sind zu bezeichnen:

Die Anwendung hoher Spannungen in den Hauptleitungen, wodurch bei unterirdisch verlegten Kabeln theuere Isolationen resultieren, ein etwas geringeres Güteverhältnis der Dynamos, wie beim Gleichstrome, und Effectverluste in den Transformatoren. Der Lichteffect der Bogenlampen ist bei gleichem Kraftconsum kleiner als jener der Gleichstromlampen. Ferner sind beim Wechselstrome bis jetzt Elektromotoren, welche mit voller Belastung anlaufen, nicht vorhanden, bezw. es können solche nur für ganz geringe Kräfte (2 bis 3 HP) gebaut werden. Endlich lässt sich der Wechselstrom nicht accumulieren.

ad III. Der Mehrphasenstrom tritt dann an Stelle des einfachen Wechselstromes, wenn es sich um die Umsetzung in Kraft (also für Kraftübertragungszwecke) handelt, da derselbe sich in ebenso leichter und sicherer Art, wie der Wechselstrom transformieren lässt, sich ebenso gut als dieser für die Erzeugung von Lichteffecten eignet, aber anderseits Elektromotoren zu construieren gestattet, welche den besten Gleichstrommotoren gleichwertig sind. Es vereinigt also der Mehrphasenstrom die Vorzüge des Wechsel- und des Gleichstromes in sich.

Welches von diesen vorangeführten Systemen in einem concreten Falle angewendet werden soll, werden nun stets locale Verhältnisse und der Rechenstift entscheiden.

ad I. *A.* Von den beiden Abarten — der directen und indirecten Stromvertheilung beim Gleichstrome, — hat erstere die größte Verbreitung gefunden, während letztere sich infolge der Vervollkommnung der Accumulatoren in neuester Zeit erst mehr und mehr Eingang verschafft hat.

ad *a*) Das directe System mit constanter Spannung (Parallelschaltungssystem), bei welchem der Strom vom Erzeuger durch die Leitungen direct zu den Consumapparaten geführt wird, besitzt die größte Zahl an Repräsentanten. Die hiebei gebrauchten Spannungen sind: a_1) 65 bis 70 Volt. Diese Netzspannung wird aber gegenwärtig fast gar nicht mehr angewendet,

da sie bei größeren Anlagen zu theuere Leitungen und bei Vorhandensein einer größeren Zahl von Bogenlampen auch zu große Effectverluste in den Verschaltwiderständen der einzeln eingeschalteten Bogenlampen ergibt. b_1) 100 bis 110 Volt (und in neuester Zeit auch 150 Volt), welche Spannung die in den meisten Fällen gebrauchte Spannung darstellt, bei welcher die Bogenlampen parallel zur Glühlichtleitung, jedoch stets zwei hintereinander geschaltet sind.

Die Vertheilung kann beim directen Betriebe entweder mit dem Zwei- oder mit dem Mehrleitersysteme durchgeführt werden.

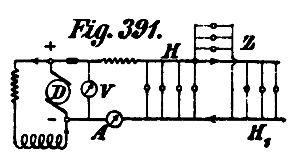


Fig. 391.

α) Beim Zweileitersysteme gehen von zwei Hauptleitern HH_1 (Fig. 391), die Zweigleitungen Z zu den Verbrauchstellen, welche wieder Nebenzweige haben können. Dadurch hat man die Möglichkeit, Lampen oder Lampengruppen ohne Beeinflussung anderer im Stromkreise befindlicher Lampen ein- und ausschalten zu können. (Mit der Zunahme der Abzweigungen wird der Widerstand des äußeren Stromkreises verringert und die Stromstärke bei constanter Spannung vergrößert.) Dieses System wurde ursprünglich von Lane Fox erfunden, dann von Edison und Gravier für Centralen ausgebildet. Anfänglich hat man die Erde als Rückleitung genommen, was aber den Nachtheil besitzt, dass die Erde einen wechselnden und oft höheren Widerstand als ein metallischer Leiter erlangt; zudem verursachen eventuelle Erdschlüsse mehr Störungen, als dies bei zwei metallischen Leitern der Fall ist.

Für kleine Anlagen wird meist nur eine Hauptleitung — die sogenannte „Speiseleitung", — mit einem einzigen Verzweigungs- oder Vertheilungspunkte P (Fig. 392) angewendet. Vom Vertheilungspunkte führen, falls die Hauptleitung einen nicht vernachlässigbaren Spannungsverlust verursacht, was gewöhnlich der Fall ist, zwei isolierte Drähte (Prüfdrähte) zur Maschine C zurück, woselbst sie an das Voltmeter angeschlossen werden. Befindet sich eine Lampengruppe in der Nähe der Maschine, so wird diese Controlleitung entsprechend verstärkt und gleichzeitig zur Vertheilungsleitung gemacht. Die Vertheilungsleitungen V_1 V_2 V_3 sind die Fortsetzung der Speiseleitungen P. Die Spannungsdifferenzen in den Vertheilungsleitungen sollen 2 bis $2^1/_2$% der Gesammtspannung nicht überschreiten.

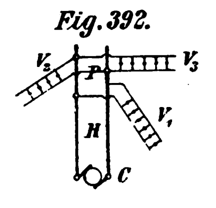


Fig. 392.

Bei Centralen und bei größeren Anlagen würden die Leitungsquerschnitte jedoch bei Wahl nur eines Vertheilungspunktes zu groß und dadurch die Anlage unrentabel werden. Man nimmt daher passend gewählte Punkte des Vertheilungsnetzes als sogenannte „Knotenpunkte" $K\,K_1\,K_2$ (Fig. 393), an welchen eine constante mittlere Spannung erhalten wird, und gegen welche die Spannung in den Glühlampen nur mehr um 1 bis 2% differieren darf. In der Praxis trachtet man, immer möglichst viele Punkte von einer Stelle abzuzweigen; man fasst 5 bis 10 Lampen in eine Gruppe zusammen, welche dann an die Hauptleitung H angeschlossen wird. In der Fig. 393 bedeutet noch C die Centrale, V Vertheilungsleitungen.

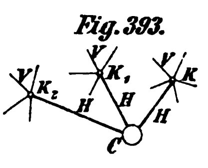


Fig. 393.

In den Hauptleitungen H zu den Knotenpunkten ist ein größerer Spannungsverlust (10 bis 20 Volt) zulässig, welcher dann derart berechnet wird, dass die Summe aus der Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten nebst den Betriebskosten, für den Energieverlust ein Minimum wird.

Je nachdem in einem großen Leitungsnetze ein größerer oder kleinerer Stromverbrauch statthat, ändern sich die Widerstandsverhältnisse im Leitungsnetze und damit die Spannungsverluste, sowie die Vertheilung derselben im ganzen Leitungsnetze derart, dass es nicht mehr genügt, die Spannung, durch Anwendung von Gleichspannungsmaschinen constant zu erhalten, sondern dass man noch weiterer Reguliervorrichtungen bedarf, um die Spannung an den Knotenpunkten constant zu erhalten.

Bei einfachen Anlagen, wie sie die Beleuchtung kleinerer Objecte in sich schließt, kann man durch Regulieren der meist als Nebenschlusstype gebauten Dynamo, u. zw. mit der Hand am Nebenschlussrheostaten, die Spannung entsprechend den Stromvariationen constant halten.

Bei Centralen kann die Regulierung gemeinschaftlich für das ganze Leitungsnetz oder separat für einzelne Speiseleitungen (oder Gruppen derselben) durchgeführt werden. Im ersteren Falle muss eine „mittlere Netzspannung“ durch die Verbindung sämmtlicher Prüfdrähte mit einem einzigen Spannungsmesser vorhanden sein. Die gemeinsame Regulierung ist jedoch nur in besonders günstigen Ausnahmsfällen durchführbar, weil in einem Beleuchtungsbezirke der Consum maximal, in einem anderen minimal sein kann.

Fig. 394.

Die hauptsächlichsten Methoden der Spannungsregulierung für Beleuchtungsanlagen bestehen nun:

1. in der Anwendung von Widerstandsregulatoren. Hiebei kann der Widerstandsregulator im Nebenschluss[1]) liegen, wenn die einzelnen Vertheilungspunkte K_1 K_2 ..., wie in Fig. 394, durch genügend starke Ausgleichleitungen verbunden sind, so dass auch bei verschiedener Belastung kein großer Spannungsunterschied besteht. Liegen die Widerstandsregulatoren jedoch im Hauptstromkreis, so kann bei zu- oder abnehmender Stromstärke in den Speiseleitungen, der Widerstand stufenweise vermehrt oder vermindert werden.

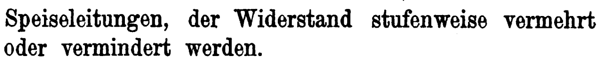


Fig. 395.

Diese Widerstandsregulatoren können entweder automatisch functionieren oder durch den Wärter bedient werden.

Die Ringleitung (Fig. 395) ist besonders für größere Anlagen und für Centralen vortheilhaft. Bei diesen verbindet man die Ringleitung L mit der Dynamo D und zweigt von L sodann die Vertheilungsleitungen ab. Der eine Ring stellt den +, der andere den — Leitungsstrang dar.

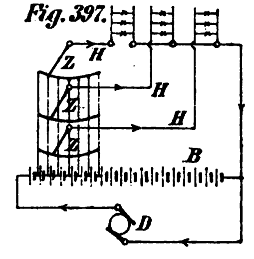
[1]) Ist E die Klemmenspannung der Dynamo-Maschine, W der Widerstand der Leitung, J die Stromstärke, so ist die Spannung am Endpunkte der Speiseleitung $E_1 = E - JW$, d. h. abhängig von der jeweiligen Stromstärke im Leitungsnetz. Vermindert man den im Hauptstromkreis vorhandenen Widerstand des Regulators nach dem Ohm'schen Gesetz, u. zw. im umgekehrten Verhältnis zur Stromstärke, so lässt sich für jede Stromstärke der Spannungsverlust in der Speiseleitung ausgleichen.

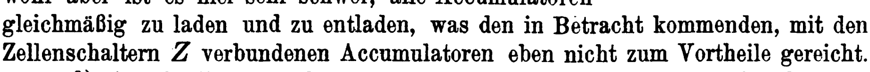
Bei großen Centralstationen sind die Dynamogruppen M meist central situiert, und es ordnen sich die Leitungsnetze V, wie in Fig. 396 gezeichnet, concentrisch zur Maschinengruppe an. Von der Maschinengruppe gehen Speiseleitungen zu den Vertheilungs- (Ausgleichs-) Leitungen, in welche Regulierwiderstände eingebaut sind.

Fig. 396.

2. In der Regulierung mit Hilfsdynamos oder mit sogenannten „Fernleitungsdynamos", indem kleine Doppeldynamo in den Hauptstromkreis (Fig. 399) eingeschaltet werden, welche eine dem Leitungsgefälle gleichwertige „Zusatzspannung" zu erzeugen vermögen, während die Haupt-Dynamomaschinen nur die unveränderliche „Nutzspannung" entwickeln. Diese Methode hat den Vorzug, dass das Spannungsgefälle in den Speiseleitungen verschieden sein kann und nicht nutzlos Energie durch Widerstände verzehrt wird; sie hat aber den Nachtheil, dass man zweierlei Dynamos braucht, was wieder compliciert erscheint.

3. In der Regulierung durch Zellenschalter bei Mitverwendung von Accumulatoren (Parallelbetrieb, Fig. 397). Die Accumulatorenbatterie B ist einerseits mit der Dynamo D in Verbindung, anderseits zweigen von derselben die Speiseleitungen H ab. Je nach dem Spannungsgefälle werden entweder mit der Hand oder durch automatische Ausschalter mehr oder weniger Accumulatoren in die Leitungen eingeschaltet.

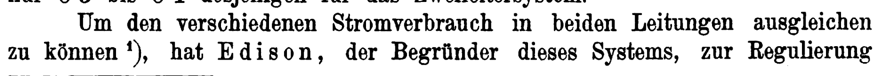


Hier ist die Regulierung unabhängig von der Maschinenspannung. Die Reguliervorrichtung ist einfach und ein nutzloser Energieverbrauch vermieden; wohl aber ist es hier sehr schwer, alle Accumulatoren

gleichmäßig zu laden und zu entladen, was den in Betracht kommenden, mit den Zellenschaltern Z verbundenen Accumulatoren eben nicht zum Vortheile gereicht.

β) Aus der Zusammenlegung von mehreren Zweileitersystemen sind folgende gebräuchliche Mehrleitersysteme entstanden.

1. Das Dreileitersystem (mit 220 Volt Spannung) ist die Vereinigung (Hintereinanderschaltung) zweier Zweileitersysteme, u. zw. mit gemeinschaftlicher Rückleitung l_2 (Fig. 398). Es werden die Leiter l_1 l_3 dieses Systems von zwei Dynamos D_1 D_2 gespeist. Der mittlere Leiter l_2 nimmt jene Stromstärke auf, welche dem Unterschiede des Consums in jeder Lampengruppe A, B entspricht. Man hat gegenüber dem Zweileitersysteme zwischen den Außenleitern l_1 l_3 die doppelte Spannung und nur die halbe Stromstärke. Infolge dessen beträgt das nothwendige Kupferquantum für eine Leitung bei gleicher Länge, gleicher Lampenzahl und gleichem percentuellen Spannungsverluste nur 0·3 bis 0·4 desjenigen für das Zweileitersystem.

Fig. 398.

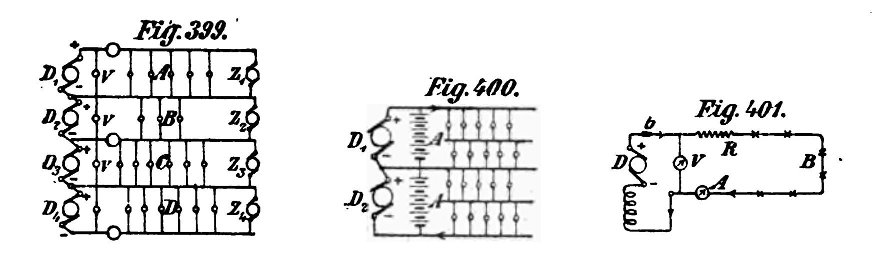

Um den verschiedenen Stromverbrauch in beiden Leitungen ausgleichen zu können [1]), hat Edison, der Begründer dieses Systems, zur Regulierung

[1]) Man bekommt bei ungleichen Lampengruppen ungleiche Widerstände in A und B und demnach ungleiche Stromstärken; daher soll man die Lampengruppen gleichmäßig auf beide Hälften des Dreileitersystems vertheilen.



Umschalter angewendet, wodurch der Consum von der stärker auf die schwächer belastete Seite umgeschaltet werden kann. Es können aber auch Ballastwiderstände eingeschaltet werden, um den Stromverbrauch des minder belasteten Stromkreises zu vermehren. Durch diese Regulierungsweisen entstehen große Energieverluste und Stromschwankungen. Der Anwendungsbereich dieses Systems beträgt 1.200 bis 1.500*m* im Halbkreise.

2. Beim Fünfleitersysteme (Fig. 399) sind die Glühlampen auf vier Gruppen *A B C D* vertheilt, und besteht dieses System gewissermaßen aus zwei in Serie geschalteten Dreileitersystemen. Hier ist das benöthigte Kupferquantum unter gleichen Bedingungen um die Hälfte kleiner, als im Dreileitersysteme. Um auch hier wieder die Spannung aller vier Gruppen constant zu erhalten, benöthigt man Compensationsvorrichtungen in jedem Knotenpunkte. So wendet z. B. die Firma Siemens & Halske, welche mehrere Abarten von Fünfleitersystemen erdacht hat, Regulatoren, dann Ausgleichdynamos (Z_1 Z_2.. Fig. 399), zur besseren Vertheilung auch Sammler (Fig. 400) an.



ad *b*) Das directe Vertheilungssystem mit constanter Stromstärke oder die Hintereinanderschaltung ist das einfachste System. Bei demselben ist nur ein geschlossener Stromkreis vorhanden, dessen Berechnung, Anordnung, Verlegung und Verbindungen, die einfachsten Ansprüche stellt. Hier läuft der Strom (siehe Fig. 401) von der (+) Maschinenklemme durch sämmtliche hintereinander geschaltete Consumapparate *B* zur Dynamo *D* zurück. Die Stromstärke ist dieselbe, dagegen ist der Widerstand umso größer, je mehr Verbrauchsstellen vorhanden sind, und umso größer ist auch die Spannung an der Maschine. Der Leitungsquerschnitt ist gering; in die Leitung kann man aber nur gleichartige Beleuchtungskörper einschalten.

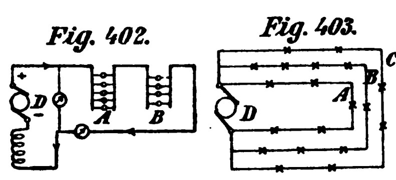
Dieses System wird üblich für die reine Bogenlichtbeleuchtung verwendet, ist jedoch stellenweise auch für Glühlicht bei Einzelanlagen (z. B. bei der Lainzer Schlossanlage für die Zufahrtstraße) verwendet worden.

Bedingungen für den richtigen Betrieb solchen Systems sind: Unveränderliche Stromstärke durch Einhalten der Umdrehungszahl und durch das Verstellen der Bürsten, oder bei Accumulatoren durch Zu- und Abschalten von Zellen.

Um die ungestörte Fortsetzung des Betriebes beim Versagen der einzelnen Verbrauchsstellen zu sichern, hat man versucht, durch „Nebenschluss-“ oder „Kurzschlussvorrichtungen“ die Continuität des Stromes zu sichern. Solche Vorkehrungen sind sowohl beim Bogen-, als auch beim Glühlichte (z. B. beim Systeme Siemens, Bernstein etc.) verwendet worden.

Dieses, auch für Elektromotoren verwendete System hat aber vielfache Nachtheile. Der wesentlichste Nachtheil ist die Abhängigkeit der ganzen Anlage von Fehlern in den einzelnen Fassungen oder Umschaltvorrichtungen, ferner von Fehlern in den einzelnen (am leichtesten gefährdeten) Lampenzuleitungen. Der Betrieb ist zudem bei großem Consumwechsel nicht so einfach aufrecht zu erhalten, wie bei der Parallelschaltung, und das Zu- und Abschalten der Maschinen bei variabler Belastung in der Anlage ist ohne Lichtschwankungen nicht gut durchführbar.

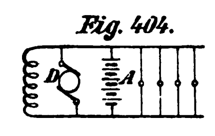
c) Die gemischte Schaltung oder die Reihenschaltung parallel geschalteter Gruppen (Figuren 402, 403) enthält die Vor- und Nachtheile der beiden unter *a*) und *b*) bezeichneten Systeme in sich. Hier sind die aus gleicher Lampenzahl bestehenden Gruppen *A B C* hintereinander, oder wie in Fig. 403, parallel geschaltet. Im ersteren Falle herrscht im Hauptstromkreise gleiche Stromstärke. Auch hier können selbstthätige Umschaltvorrichtungen angewendet werden. (Beispiel die Beleuchtungsanlage in Temesvar, Bogenlichtanlage des Südbahn-, Westbahnhofes etc.)



ad *B*. Bei der indirecten Stromvertheilung mit Gleichstrom kann der Strom in Accumulatoren angesammelt und nach Bedarf an das Leitungsnetz abgegeben werden. Hiebei kann der Strom einer hochgespannten Dynamo durch eine Fernleitung in einen Sammler von großer Zellenzahl geschickt werden, aus welchem dann von beliebigen Zellen aus mit beliebiger Spannung ein Zwei- oder Mehrleitersystem mit Strom versorgt wird. Der Sammler regelt in diesem Falle den Stromverbrauch und gestattet die Dynamo voll zu beanspruchen.

In den meisten Fällen werden die Accumulatoren *A* (Fig. 404) mit der Dynamo *D* und dem Leitungsnetze nebeneinander geschaltet. Dann arbeitet zur Zeit der geringsten Stromabgabe der Sammler allein, zur Zeit der größten dagegen in Nebeneinanderschaltung mit der Dynamo. (Parallelbetrieb.)

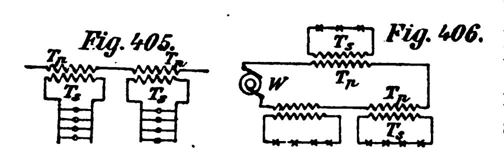
In Centralstationen werden oft sogenannte „Sammler-Unterstationen" errichtet, welche in der Regel aus zwei Batterien bestehen. Der Betrieb wird dann in der Weise eingeleitet, dass alternierend der eine Sammler geladen, der andere gleichzeitig entladen wird. Die zu ladenden Zellen werden in der Regel hintereinander, die zu entladenden in verschiedener, der Stromabgabe entsprechender Weise geschaltet.



ad II. Die Vertheilung mit Einphasen-Wechselstromleitung hat für die Fortleitung auf große Entfernungen (Übertragung und Beleuchtung) die größte Bedeutung erlangt. Auch hier können für den Gebrauch der Transformatoren die zuvor für den Gleichstrom geschilderten Vertheilungssysteme (Zweileiter-, Dreileitersysteme) in analoger Weise Anwendung finden.

Man kann die Wechselstrom-Transformatoren entweder in Serien-, oder in Parallelschaltung verwenden.

a) Hält man die Stromstärke des primären Stromkreises constant, so wird man die Transformatoren T_p (Fig. 405) hintereinander schalten können. Der Strom im secundären Stromkreise (T_s) wird ebenfalls constant bleiben, während sich die elektromotorische Kraft mit der Belastung ändern wird. In diesem Falle werden die Bogenlampen und Motoren im äußeren, secundären Stromkreise hintereinander geschaltet, wie dies die Fig. 406 zeigt.

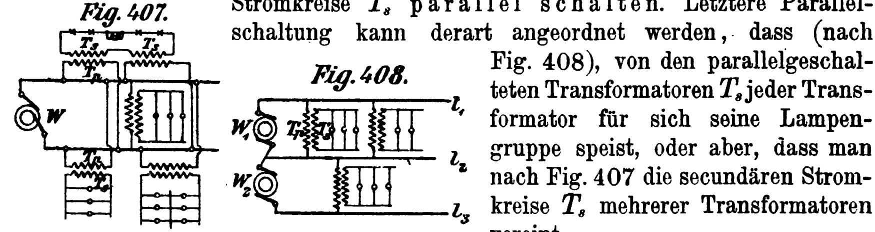


Dieses System der Hintereinanderschaltung, welches in der Praxis schon mehrfach versucht, aber ohne vollen Erfolg ausgeführt worden ist, hat den Nachtheil, dass die Selbstregulierung und damit die Unabhängigkeit der Lampen in irgend einem Stromkreise unmöglich wird. Hier hängt jeder Transformator von der absoluten Beständigkeit der Wechselstrommaschine *W* ab, welche einen constanten Strom liefern soll. Bei hintereinander geschalteten Transformatoren ist weiters der Widerstand sehr groß; mithin ist auch schon der Energieverbrauch im Primärstromkreise groß. Da nun aber, wenn wenig Lampen eingeschaltet sind, der secundäre Widerstand beim Betriebe größer statt kleiner wird, desgleichen, wenn mehr Lampen eingeschaltet werden, derselbe kleiner wird, statt dass er sich proportional der Vermehrung der Lampen im secundären Stromkreise vergrößern würde, so müsste man den primären und den secundären Stromkreis mit Selbstregulierung versehen, wodurch die Effectverluste und Kosten sich vergrößern werden. (Beispielsweise hat man durch Zuschalten von Hilfsspulen versucht, einen Ersatz für die abzuschaltenden Lampen zu geben.)

Hierher gehören die Vertheilungssysteme von Jablochkoff, Méritens, Gaullard & Gibbs u. m. a., die sich aber praktisch wenig bewährt haben.

b) Hält man hingegen die elektromotorische Kraft des primären Stromkreises constant, so bleibt auch die secundäre oder die an den secundären Klemmen des Transformators vorhandene Spannung constant, gleichgiltig, wie groß auch ihre Belastung ist.

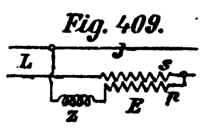
In diesem Falle kann man die Transformatoren nach Fig. 407 mit ihren primären Wicklungen T_p und damit auch die Lampen im secundären Stromkreise T_s parallel schalten. Letztere Parallelschaltung kann derart angeordnet werden, dass (nach Fig. 408), von den parallelgeschalteten Transformatoren T_s jeder Transformator für sich seine Lampengruppe speist, oder aber, dass man nach Fig. 407 die secundären Stromkreise T_s mehrerer Transformatoren vereint.



Die Figuren 407 und 408 zeigen Schaltungsweisen für ein Zwei- und ein Dreileitersystem. Das letztere System, welches die bereits beim Gleichstromsysteme besprochenen Vortheile in analoger Weise auch beim Wechselstrome besitzt, wird gegenwärtig praktisch bei größeren Installationen (Centralanlagen) verwendet.

Je nach den verschiedenen Reguliermethoden für den Ausgleich der Spannungsdifferenzen bei ungleicher Belastung in den einzelnen Lampengruppen ergeben sich wieder Modificationen von Reguliersystemen. Zu den Vertretern des Wechselstromsystemes sind Ferranti, Westinghouse, Siemens & Halske und die eigentlichen Begründer desselben, die Firma Ganz & Cie. zu zählen. (Transformatoren-Fernleitungssystem Zipernowský-Déri-Bláthy.)

Ganz & Cie. regulieren den Spannungsverlust in den Leitungen durch einen, nach Fig. 409 geschalteten Transformator E (den Egalisator), welcher dazu dient, die Spannung an den in den Leitungsnetzen eingeschalteten Transformatoren zu controlieren und anderseits die Spannungsverluste auszugleichen.



Der Egalisator ist mit seiner secundären Wicklung s in die Leitung L, mit seiner primären p im Nebenschluss zur Hauptleitung L geschaltet, u. zw. letztere Wicklung in Serie mit einem Zusatzwiderstande z. Der Egalisator E wirkt der Spannung in der Hauptleitung entgegen; sinkt daher letztere bei stärkerer Belastung, so ist auch die Gegenwirkung geringer, und es können mittels des Zusatzwiderstandes z die Verhältnisse derart gewählt werden, dass die Spannung innerhalb gewisser Grenzen constant bleibt.

c) Aus den beiden vorhergehenden Systemen lässt sich noch das gemischte System in der Weise bilden, dass im primären Stromkreise die Transformatoren hintereinander geschaltet, hingegen in den secundären Stromkreisen die Parallelschaltung der Lampen angewendet wird. In diesem Falle bleibt jedoch die Spannung an den secundären Klemmen nur dann constant, wenn sich der Widerstand in der Außenleitung nicht ändert. Dies führt aber dazu, dass jede Lampengruppe im Falle ihrer Außerbetriebsetzung durch einen Ersatzwiderstand oder durch eine Spule mit Selbstinduction ersetzt werden muss, um den Kraftverbrauch möglichst constant zu erhalten. (System Thomson etc.)

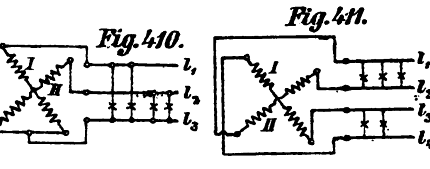
Große Wechselstromcentralen werden wie Gleichstromcentralen eingerichtet. Die Primärleitungen werden als geschlossene Leitungsnetze ausgeführt, welchen an bestimmten Knotenpunkten mittels Speiseleitungen hochgespannter Wechselstrom zugeführt wird. Die secundären Leitungen arbeiten entweder direct in einem Lampen- oder Motorenstromkreise, oder wieder in ein geschlossenes Leitersystem, von welchem einzelne Lampengruppen oder Motorkreise abzweigen.

ad III. Die Mehrphasenstromanlagen, welche analog der Wechselstromanlagen aus einer Primär-, Secundärstation und der Fernleitung bestehen, lassen sich wieder untertheilen in:

A. solche mit Zweiphasenstrom, u. zw.:

a) mit drei (Fig. 410) und

b) mit vier Leitern (Fig. 411).

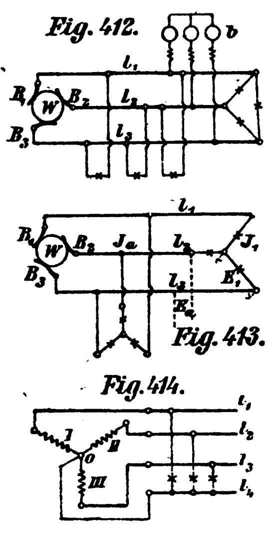


Erstere Schaltweise wird angewendet, wenn der Mehrphasenstrom von einer Wechselstrom-, letztere, wenn er von einer Gleichstrommaschine abgenommen wird;

B. solche mit Dreiphasenstrom (Drehstrom), u. zw.:

a) mit der Vertheilung in Dreiecks-, oder in Sternschaltung (Fig. 412, 413),

b) mit der Vertheilung in Sternschaltung mit viertem Leiter (Fig. 414), wo nämlich der neutrale Punkt *o* der Sternschaltung zu einem vierten Leiter l_4 ausgebildet ist.



Die Abnahme des Stromes von dem Mehrphasenstromerzeuger, dann die Schaltweise, bezw. die Verkettung der einzelnen Leitungen l_1 l_2 l_3 und l_4 untereinander, sowie der Anschluss der Glüh- *g* und der Bogenlichter *b* an diese Hauptleitungen geht deutlich aus den Figuren 410 bis 414 hervor. Grundsätzlich wird jede Nutzleitung zwischen zwei Hauptleitungen geschaltet, und womöglich die drei Zweige gleichmäßig belastet.

Hinsichtlich dieser erst neu in die Praxis eingeführten Vertheilungssysteme ist Folgendes zu bemerken:

Das Mehrphasenstromsystem hat wie Seite 258 betont, hauptsächlich dort vortheilhafte Verwendung zu erwarten, wo das Hauptgewicht auf eine Kraftvertheilung auf große Distanzen gelegt wird. Hier erscheint das Mehrphasenstromsystem dem Einphasen-Wechselstromsysteme gegenüber zumindest ökonomisch gleichwertig. Das Drehstromsystem ist anderseits dem Zweiphasenstromsysteme wirtschaftlich überlegen, u. zw. insbesondere, seitdem es gelungen ist, auch bei ungleicher Belastung die Spannung in den drei Zweigen einer Drehstromanlage gleich zu erhalten.

Hinsichtlich der Abarten des Drehstromsystemes ist es fast gleichgiltig, welche Schaltweise man anwendet; doch erscheint die Dreiecks- (oder Parallel-) Schaltung gegenüber der Stern- (oder Hintereinander-) Schaltung als eine bequemere Verbindungsweise. Siemens & Halske, welche mehrere Drehstromcentralen bereits zur Ausführung gebracht haben, empfehlen für die Netzsysteme des Drehstromes eine Spannung von 70 und 120 Volt. Je nach dieser Spannung wird die Dreiecks-, oder die Sternschaltung angewendet. Bei ersterer Spannung (70 Volt) werden die Glühlampen (nach Fig. 412) in Dreiecksschaltung, die Bogenlampen *b* mit ihren Vorschaltwiderständen zu je drei in Sternschaltung angeordnet.

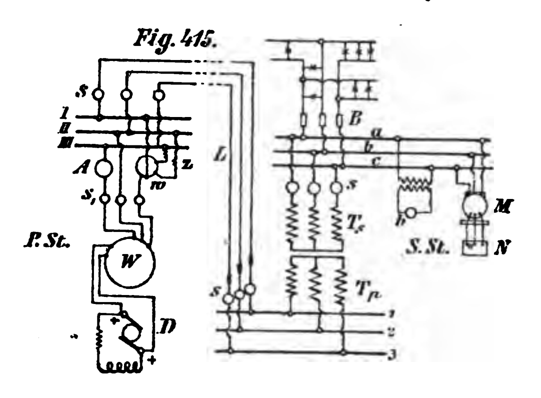
Bei 120 Volt Netzspannung werden die Glüh- und Bogenlampen in Dreiecksschaltung, u. zw. letztere in Gruppen zu dreimal drei angeordnet.

Der zulässige Belastungsunterschied in den drei Zweigen kann bis zu 25% betragen, ohne dass besondere Spannungsunterschiede in den Zweigen erhalten werden.

Die Regulierung der Spannung geschieht durch die Regulierung des Magnetstromes der Erregermaschine, dann im Leitungsnetze (u. zw. bei Centralen) durch die Anwendung sogenannter „Ausgleicher“, d. s. Transformatoren, welche an einer Spule sitzen und in Sternschaltung gestellt sind. Man schließt bei der Schaltung sub *B. b*) dann die neutralen Punkte der Transformatoren an den neutralen Punkt des Ausgleichers an.

Der Betrieb solcher Drehstromanlagen ist ebenso einfach, wie jener des Einphasenstromsystems.

Als Beispiel einer Drehstromanlage ist in der Fig. 415 eine schematische Darstellung einer solchen gegeben. In der Figur bedeutet: *P.St.* die Primär-, *S.St.* die Secundärstation, I, II, III, 1, 2, 3 die primären, *a*, *b*, *c* die secundären Vertheilungsschienen, *W* die Drehstrom-, *D* die Erregermaschine, *A* ein Ampèremeter, *w* ein Wattmeter mit dem Zusatzwiderstand *z*, *s* dreipolige Ausschalter, s_1 solche in Verbindung mit Bleisicherungen, *L* die Fernleitung, T_p T_s die primäre und secundäre Wicklung des Drehstromtransformators, *M* einen Motor, *N* einen Anlasswiderstand, *b* eine Bogenlampe, *B* Bleisicherungen.



Die Hochspannungsleitungen *L* bestehen aus dreifach concentrischen Patent-Bleikabeln, an welche die Transformatoren angeschlossen werden, von welchen wieder dreifach concentrische Vertheilungsleitungen den nieder gespannten Strom zu den Verbrauchsapparaten führen.

2. Die Herstellung elektrischer Beleuchtungsanlagen.

Hinsichtlich der Herstellung, bezw. Projectierung elektrischer Beleuchtungsanlagen, welche je nach der Größe des Objectes verschieden sein wird, lassen sich im allgemeinen nachstehende Anhaltspunkte geben.

Vor allem kommt die Wahl des Vertheilungssystemes für solche Anlagen in Betracht zu ziehen. Als Grundsatz hiefür gilt jener der Billigkeit. In letzterer Hinsicht wird eine Anlage umso wirtschaftlicher sein, je höher man die Betriebsspannung wählt. Diese kann aber nicht beliebig genommen werden. Mit Gleichstrom kann man bis zu 500 Volt, mit Einphasenwechselstrom bis zu 3.000 Volt gehen. Da Glühlampen nur für relativ niedere Spannungen (bis zu 200 Volt) erzeugt werden können, so begrenzen diese die Art der Anlage. Hingegen kann man bei Bogenlichtbeleuchtung bis zu 700 Volt (entsprechend 12 Lampen hintereinander geschaltet) gehen. Beeinflussend ist weiters der Ort der maschinellen Anlage und insbesondere dessen Entfernung von der Verwendungsstelle, welch' letztere bestimmen wird, welche Stromform am zweckmäßigsten zur Anwendung gelangen soll. (Vergl. Seite 257.)

Nach Festsetzung des Vertheilungssystemes umfasst nunmehr die Projectierung einer Beleuchtungsanlage:

a) die Größe und Zahl der Maschinen, deren Leistungsfähigkeit nach dem Bedarf (Stromstärke und Spannung) ermittelt wird;

b) die Größe und Art der Betriebskraft (meist Dampfmaschinen), Art des Antriebes;

c) die Bestimmung der Leitungsanlage. Hiezu wird auf Grund einer örtlichen Aufnahme aus den Grundriss- und Aufrisszeichnungen des Objectes, die Zahl, Lage und Gattung der Beleuchtungskörper bestimmt. Man sucht sodann den Schwerpunkt des ganzen Massensystems und bestimmt diesen als Aufstellungsort für die Dynamo-Maschine. Durch Eintragung aller Daten in eine Planskizze ergibt sich hiedurch ein „Beleuchtungsplan". Nun handelt es sich da um die Verbindung der Verbrauchsapparate untereinander. Dies ist für eine Reihenschaltung eine geometrische Aufgabe; bei der Parallelschaltung bildet man aus nahe aneinander gelegenen Lampen Gruppen, und fasst mehrere Gruppen durch eine gemeinschaftliche Leitung zusammen. Hiebei muss Rücksicht auf die Regulierungsart genommen werden. Sind die Leitungen in einem „Installationsplan" eingezeichnet, so wird die Länge und Strombelastung der Leitungen bestimmt und nunmehr auf Grund des rentablen Spannungsverlustes pro Längeneinheit, der Leitungsquerschnitt gerechnet oder graphisch ermittelt.

Nach diesem erfolgt sodann die Bestimmung der Zahl und Orte für die Sicherheitsschaltungen, Ausschalter u. dgl. m., welche Apparate in die Installationszeichnung eingetragen werden. Hinsichtlich der Aufstellung (Fundierung) der Dynamo-Maschine und deren Verbindung mit dem Motor, dann des Zubehörs, Schaltbrettes etc., wird eine „Dispositionszeichnung" hergestellt.

Soll eine Installation ausgeführt werden, so sind hiezu gewisse „Vorarbeiten" nothwendig. Diese begreifen in sich: die Absendung des Materials. Anordnung des Beginnes der Arbeiten, Beschaffung eines Raumes für das Werkzeug, sowie von Montage-Gerüstungen, eventuelle bauliche Herstellungen u. s. f.

Während der Installationsarbeiten ist hauptsächlich darauf zu achten, dass das in der Installationszeichnung vorgeschriebene Material an richtiger Stelle verwendet wird. Sind Leitungen verlegt, so müssen sie jedesmal auf Continuität und Isolation überprüft werden.

Nach Beendigung der Isolationsarbeiten werden die Sicherheitsschaltungen untersucht, die Verbindungen controliert, die Bogenlampen ohne Kohlen eingehängt und die Schlussmessung des ganzen Leitungsnetzes von der Maschinenanlage aus durchgeführt. Nach Fertigstellung der maschinellen Anlage wird diese für sich zuerst überprüft, ein Probebetrieb derselben und, bei fehlerfreiem Gange, sodann ein Probebetrieb der ganzen Anlage eingeleitet. Die Abnahme einer Installation erfolgt auf Grund eines mit dem Benützer zu vereinbarenden Dauerbetriebes, — vor, nach oder während dieses Betriebes kann gleichzeitig eine Aufnahme des Materials vorgenommen werden.

Mit der Herstellung solcher Anlagen ist stets eine gewisse Garantieleistung der installierenden Firma mitverbunden.

Die elektrischen Läutewerke.

Die elektrischen Läutewerke, auch Signalwerke, Klingel oder Wecker genannt, dienen dazu, um auf Entfernung akustische Signale zu geben. Ihr Princip ist im wesentlichen Folgendes:

Auf einer Holzplatte *H* (Fig. 416) ist ein Eisenwinkel *E* befestigt, der die Glocke *G*, den Elektromagnet *m*, den Anker *A* mit einem Klöppel *c* und die Unterbrechungsschraube *f* trägt. Letztere ist durch eine Ebonitplatte

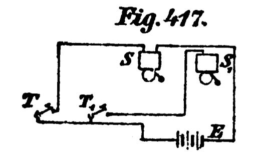
isoliert auf dem Eisenwinkel aufgeschraubt. Die Unterbrechungsvorrichtung besteht aus der mit einem Platincontacte und dem Anker A versehenen Feder w, deren Spannung durch die Stellschraube f reguliert werden kann. Die Feder w presst mit ihrem Platincontacte gegen den Platincontact der Stellschraube. P_1 P_2 sind Klemmen, von welchen P_1 mit dem Elektromagnet m, P_2 mit der Stellschraube f verbunden ist.

Fig. 416.

Der Strom kommt von der äußeren Leitung durch die Klemme P_1 zum Elektromagnet m, führt durch dessen Umwindungen zum Eisenwinkel E, geht sodann über den Winkel und die Feder w zur Stellschraube f, welch' letztere mit der Klemme P_2 verbunden ist, durch welche der Strom aus dem Läutewerke wieder austritt. Sobald nun der Elektromagnet den Anker anzieht, wird der Contact an der Stellschraube f und der Strom unterbrochen. Der dadurch entmagnetisierte Anker geht vermöge der durch die Feder w ausgeübten Wirkung zurück, legt sich gegen den Stift f, schließt wieder den Strom und nun wiederholt sich der Vorgang so lange, als der Strom andauert.

Durch die Taster T und T_1 (Fig. 417) wird der Stromschluss bewirkt, und es sprechen dann die diesen Tastern zugehörigen Klingeln an, so durch Taster T die Klingel S und durch T_1 die Klingel S_1. Man kann dann durch kürzer oder länger andauernde Vibrationen des Glockenklöppels c eine Reihe von Signalen combinieren.

Fig. 417.



Man bezeichnet die vorbeschriebene Klingel als solche „mit Selbstunterbrechung“ (Rasselklingel).

Als Mittel zum Schließen des Klingelstromkreises verwendet man verschiedene Druckknöpfe, richtiger „Taster“ genannt, von welchen die einfachste Form in Fig. 418 dargestellt ist. Als Drücker wird ein Knopf K benützt, der auf die Feder f wirkt, welche der Feder g gegenüber steht. Da die beiden Federn mit der Stromleitung verbunden sind, wird durch ihre Berührung der Stromkreis geschlossen, bezw. durch das Entfernen derselben von einander der Stromkreis unterbrochen. Die Druckknöpfe (Taster) werden in verschiedenen Variationen als transportable Taster, wie die Quetsch-, Birn-, Tischtaster, dann als fixe Wandtaster, als Drucktaster mit Rücksignal, Thürcontacte u. dgl. m. in der Technik verwendet. Oft verwendet man auch Telegraphentaster, wie solche noch später beschrieben werden.

Fig. 418.

Fig. 419.

Von den Klingeln gibt es nun eine Reihe von Varianten (mit einfachem Schlag, Rasselklingel, fortläutende Klingel u. dgl. m).

Will man mit dem akustischen Signal noch ein optisches verbinden, so werden Klingel oder Wecker mit vorfallenden Nummerscheiben versehen (Markierklingel). Dies wird in der einfachsten Weise dadurch vermittelt, dass auf dem Anker A (Fig. 419) ein Stift s sitzt, gegen welchen ein Winkelhebel w mit einer Fallscheibe F sich anlegt. Sowie der Anker A angezogen wird, lasst der Stift s den Hebel

frei und die Fallscheibe fällt nach unten und wird (z. B. hinter einem Ausschnitte des Weckerkastens) sichtbar.

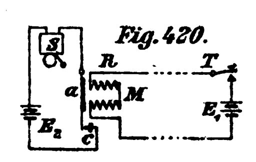


Fig. 420.

Bei großen Entfernungen oder bei sehr kräftig wirkenden Klingeln schaltet man durch ein Relais R (Fig. 420) eine zweite Batterie „Localbatterie“ E_2 ein. Solche Relais bestehen aus einem Elektromagnet M, dessen Anker a beim Anzuge mittels des Contactes c den Localstrom der Batterie E_2 schließt und so lange kräftig die Klingel S activiert, als der Taster T niedergedrückt ist.

Bei den Klingelwerken mit polarisiertem Anker (Fig. 421) wird unter dem Einflusse alternierender Ströme, welche durch die Spule B fließen, der Kern A aus weichem Eisen alternierend magnetisiert, und bewegt sich daher dessen unteres Ende bald gegen den Süd-, bald gegen den Nordpol des permanenten Magneten NS. In jeder Periode des Stromes führt der Kern A eine doppelte Schwingung aus, und der Klöppel c schlägt einmal an die Glocke G.

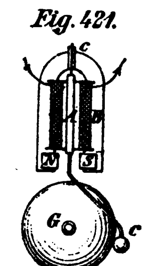


Fig. 421.

Um laute Schläge hervorzubringen, wie dies z. B. bei den Eisenbahnläutewerken der Fall ist, werden die einzelnen Ankerbewegungen zur Auslösung eines mit einem schweren Gewichte versehenen Laufwerkes benützt. Das in Bewegung gesetzte Laufwerk hebt nun einen oder mehrere große Hämmer, um sie bei einer bestimmten Umdrehung des Werkes frei fallen, und diese nun kräftige Schläge gegen eine oder mehrere große Glocken ausführen zu lassen.

Durch Combination können bei jeder Ankerbewegung einzelne Schläge oder bestimmte Gruppen von Schlägen hervorgebracht werden.

Soll von verschiedenen Orten aus jemand gerufen werden und dieser sofort den rufenden Ort erkennen, so wendet man Klappenapparate (Indicateure) an, welche aus einer Reihe von Signalscheibeneinrichtungen bestehen. Hiebei können die herabfallenden Scheiben oder Klappen wieder von Hand aus aufgerichtet werden, oder die Rückstellung der Nummerscheibe wird durch das Aufhören des Stromes selbst bewirkt.

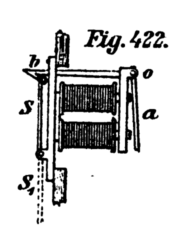


Fig. 422.

In der einfachsten Form besteht eine solche Signalscheiben-(Indicateur-)Einrichtung aus einem Elektromagneten (Fig. 422), der Signalscheibe S, dem um o drehbaren, mit einem Hebel versehenen Anker a und einer Vorrichtung zum Zurückstellen der vorgefallenen Signalscheibe S. Durch den elektrischen Strom wird der Elektromagnet magnetisch, zieht den Anker a (aus Eisen bestehend) an, und die nun bei b frei werdende Signalscheibe S fällt je nach der Anordnung entweder seitwärts, vorwärts oder senkrecht nach abwärts. (S^1.)

Die Signalscheiben-Apparate mit polarisierten Ankern wirken durch die Abstoßung eines leichten magnetisierten Stahlankers ns

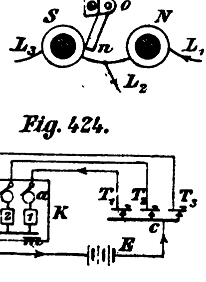
(Fig. 423), indem beim Stromschluss ein Pol n des Ankers vom gleichnamigen des Elektromagneten N abgestoßen, vom ungleichnamigen S angezogen wird.

Wechselt man die Stromrichtung im Magnetsysteme NS (z. B. durch die Bethätigung eines Druckknopfes am Tableau selbst), so dass der Strom statt durch L_1, durch L_3 eintritt und über L_2 zurückführt, so kann durch die entgegengesetzte Wirkung von NS die Signalscheibe wieder in ihre Ruhelage zurückgebracht werden.

Fig. 423.

Es entspricht sodann jedem Taster eine zugehörige Klappeneinrichtung. In der Fig. 424 ist z. B. eine solche für drei Taster T_1 T_2 T_3 und eine Klingel S angedeutet. Der Stromverlauf ergibt sich einfach, wenn man einen Taster niedergedrückt sich denkt. (Z. B. für $T_1 : E\ c\ T_1\ a, m, e\ S, E.$) Taster und Signalscheiben-Apparate sind parallel geschaltet.

Fig. 424.



Hinsichtlich der allgemeinen Schaltungsweise von Klingelwerken ist zu bemerken, dass Klingelwerke sowohl hinter-, als auch nebeneinander geschaltet werden können. Die erstere Schaltungsweise liefert namentlich bei schlechter Einstellung der Anker ein oft nicht befriedigendes Arbeiten. Wecker mit Selbstunterbrechung lassen sich überhaupt nicht ohne besonderer Änderung hintereinander schalten; es werden für Hintereinanderschaltung Wecker mit Selbstausschluss angewendet.

Besser ist es, die Klingeln mit Selbstunterbrechung nebeneinander (parallel) zu schalten (Fig. 417, 424), so dass jede Klingel unabhängig von der anderen ihren Strom erhält. Auch ist hier die relative Stromstärke geringer als bei der Hintereinanderschaltung.

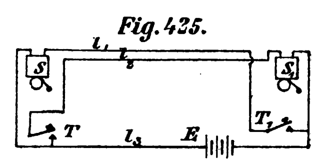
Die Schaltung der Klingelwerke und der diese bethätigenden Taster wird im allgemeinen eine verschiedene sein, je nachdem ein oder mehrere Klingelwerke, bezw. ein, zwei oder mehrere Taster zur Anwendung kommen, ferner je nachdem eine einseitige oder wechselseitige, oder eine Centralsignalgebung mit einem Indicateur angestrebt wird.

Gewöhnlich werden bei Klingelwerken metallische Hin- und Rückleitungen angewendet, doch kann bei größeren Entfernungen der correspondierenden Orte die Erde als Rückleiter benützt werden. In diesem Falle ist der Leitungsbau analog jenem beim Telegraphen, und ist dann in solchem Falle für jede Station gewöhnlich eine separate Batterie nothwendig.

Die Fig. 425 stellt eine Anlage mit wechselseitigen Klingeln dar. In der Figur bedeuten: S, S_1 die Klingeln, T, T_1 die Taster, E die Batterie, l_1 l_2 l_3 die Leitungen. Der Stromverlauf ist aus der Figur leicht zu entnehmen.

Über die Einrichtung und Ausführung von Läutewerksanlagen ist noch zu bemerken, dass Anbringungsorte und Zahl der Signalapparate in einem „Läutewerksschema“ festgestellt, die Ausführung und Montage der Leitungen sodann nach denselben Grundsätzen, wie Seite 247 angegeben, bewirkt werden.

Fig. 425.



Hinsichtlich des Betriebes von Klingelwerken ist anzufügen, dass es für ein richtiges Arbeiten derselben Grundbedingung ist, dass die Contact-

schrauben richtig eingestellt, die Platincontacte rein, die Elemente ordentlich instand gehalten werden.

Fehler, welche zu Betriebsstörungen Anlass geben, sind: schlechte Apparate, mangelhafte Leitungen und unrichtige Schaltungsweisen. Fehler in den Apparaten werden selten (etwa an den Contacten, Stromverbindungen) vorkommen; hingegen sind Störungen in den Elementen oder in den Leitungen häufiger zu beobachten.

Die Fernsprechapparate.

I. Das Telephon.

1. Einleitung. Princip des Telephons.

Die Übertragung der menschlichen Sprache oder überhaupt von Tönen auf weitere Entfernungen mittels Elektricität wird gebräuchlich mit dem Worte „Telephonie“ [1]) bezeichnet, nachdem der erste Apparat, welcher von dem Unterlehrer Philipp Reis in Friedrichsdorf bei Homburg 1868 erfunden, von diesem „Telephon“ genannt wurde.

Die Sprache ist bekanntlich aus Worten zusammengesetzt, welche wieder aus Lauten bestehen und diese werden durch die Wirkung der Luft erzeugt, welche durch die Lungen auf die Stimmbänder geworfen wird.

Diese letzteren geben den Grundton, während die Formbildung des Mundes die harmonischen (Ober-) Töne erzeugt.

Während nun bei der Übertragung der Musik und des Gesanges es hinreicht, die den Grundtönen entsprechenden Wellenbewegungen von großen Schwingungsweiten fortzuleiten, müssen bei der Sprachübertragung Wellenbewegungen von sehr kleiner Schwingungsweite reproduciert werden.

Es gibt nun verschiedene Apparate, diese Wellenbewegungen der Luft zu reproducieren. So z. B. kann auf eine mit einem Platinstifte versehene Membrane gesprochen werden, welche vor einem rotierenden, mit einer Stanniol- oder Wachshülle umgebenen Cylinder angebracht ist. Infolge der durch die Luft hervorgebrachten Schwingungen, welche sich auf die Membrane fortsetzen, verzeichnet der schwingende Stift in der Stanniol- oder Wachsumhüllung des Cylinders Furchen, deren Tiefe den Schallschwingungen des Wortes entsprechen.

Zwingt man umgekehrt den Stift allen Unebenheiten der Furchen zu folgen, so führt das Diaphragma alle Schwingungen aus, welche durch die

---

[1]) Die Telephonie gehört, gleichwie die Telegraphie, in das Gebiet der „Schwachstromanlagen“, da die bei diesen zur Verwendung gelangenden Ströme eine nur sehr geringe Intensität erreichen.

Die Inductionsströme der Telephonie sind fast unmessbar. Die Ströme für Telegraphenzwecke erreichen eine Stromstärke von 0·0001 bis 0·1 Ampère, deren Spannungen überschreiten selten 100 Volt.

Der Begriff „Schwachstromanlagen“ lässt sich am besten dadurch präcisieren, dass bei diesen die elektrische Arbeit, d. i. das Product aus Spannung und Intensität ein sehr geringes ist und dass derlei Anlagen keinerlei Vorsichtsmaßregeln hinsichtlich Feuersgefahr infolge Abschmelzens der Leitungen bedürfen und auch keine Gefahr bei den Manipulationen mit denselben oder bei zufälliger Berührung verbunden ist.

Stimmwirkung entstanden sind, und kommen diese Schwingungen durch die Vermittlung von Luftschwingungen wieder als Töne zur Reproduction, die allerdings geringer intensive und in der Klangfarbe schärfer betonte Töne als die menschliche Stimme liefern.

Hierauf basiert das Princip des Edison'schen Phonographen, der solchergestalt eigentlich eine Wortschreibmaschine darstellt und mit der Elektricität nichts gemein hat.

Die Tonübertragung auf größere Entfernungen mittels Elektricität besteht nun in der Umwandlung der akustischen Energie (oder der Schallwellen) in elektrische Energie. Auf diesem Principe beruht das erste, für den Verkehr brauchbare von Graham Bell im Jahre 1876 erfundene Telephon, dessen Einrichtung im folgenden besteht:

In der Fig. 426 stellt M eine weiche Eisenplatte dar, welche in einem Mundstücke (Schalltrichter) T entsprechend gelagert ist und in geringer Entfernung dem Pole eines permanenten Stabmagneten NS gegenübersteht, der mit einer Drahtspule A umgeben ist und mit dieser in ein Gehäuse von Holz G etc. eingeschlossen wird. Zwei Polklemmen pp_1 sind mit den Enden der Spule A verbunden. Mittels der Stellschraube B ist es möglich, den Stabmagnet M zu verschieben.

Fig. 426.

In dieser Form kann ein solcher Apparat eine einfache Telephonstation (Sprechstelle oder Sender) bilden. Für die Übertragung nach einem entfernteren Orte ist eine zweite gleiche Station (Empfangsstation oder Empfänger) nothwendig, welche mittels einer Leitung L mit der ersteren Station verbunden wird.

Die Wirkung des Magnettelephons erklärt sich nun auf folgende Weise:

Wird gegen die Membrane M der Station A (Fig. 427) gesprochen, so verursachen die Schallwellen der Luft ein Schwingen der Membrane, u. zw. nähert (1) oder entfernt (2) sich die Membrane M vom Pole N des Magneten; hiedurch wird das magnetische Feld geändert. Nähert sich die Membrane dem Pole N des Magneten, so geht eine größere Zahl von Kraftlinien von demselben durch die Membrane, und das magnetische Feld wird in diesem Falle verstärkt. Jede Veränderung im magnetischen Zustande des Stahlstabes erzeugt aber in den, den Magneten umgebenden Drahtwindungen einen Inductionsstrom, dessen Richtung sich auf folgende Weise bestimmen lässt: Der in den Windungen entstehende Inductionsstrom trachtet stets, sich der eintretenden Änderung im magnetischen Zustande zu widersetzen. (Lenz'sches Gesetz.) Wird also bei der Näherung der Membrane M das magnetische Feld verstärkt, so hat der Inductionsstrom eine solche Richtung, dass er den Magnetismus des Stabes, (in der Figur also jener des Nordpols) zu schwächen trachtet. Da nun ein Nordpol in einem Eisenstabe dann hervorgerufen wird, wenn um denselben ein Strom in entgegengesetzter Richtung des Uhrzeigers circuliert, so muss, um einen im Stahlstabe bereits befindlichen permanenten Nordpol zu schwächen,

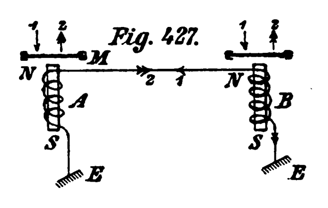


Fig. 427.

der Strom die Richtung im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers haben, d. h. einen Südpol zu erzeugen trachten. Es hat also bei der Näherung der Membrane an den Magneten, der in den Windungen entstehende Inductionsstrom die in der Fig. 427 mit ⟵ angedeutete Richtung.

Umgekehrt wird beim Entfernen der Membrane *M* vom Magneten (2↑) das magnetische Feld geschwächt; der entstehende Inductionsstrom trachtet nun, sich dieser Schwächung zu widersetzen, d. h. den Magnetismus des Stabes (in der Figur jenen des Nordpols) zu verstärken. Der Strom muss daher eine solche Richtung haben, dass er im Stabe einen Nordpol zu erzeugen trachtet, er also in entgegengesetzter Richtung der Uhrzeigerbewegung (in der Figur mit ↠ angedeutet), verlauft.

Ist mit diesem Telephon in *A* ein zweites in *B* durch eine Leitung verbunden, so gelangen die im Telephone *A* erzeugten Inductionsströme in die Windungen des Telephons in *B* und bewirken hier nunmehr Folgendes:

Der in *A* bei der Näherung der Membrane an den Magneten erzeugte Inductionsstrom (⟵ 1) hat in *B* eine solche Richtung, dass er in dem gegenüber der Membrane befindlichen Stabende einen Nordpol erzeugt, d. h. den bereits im Stabende vorhandenen verstärkt, daher die Membrane angezogen wird. Umgekehrt hat der in *A* beim Entfernen der Membrane hervorgerufene Inductionsstrom (↠ 2) in *B* eine solche Richtung, dass er im Stabende *N* einen Südpol zu erzeugen trachtet, daher den im Stabende vorhandenen Nordpol schwächt, wodurch sich die Membrane vom Stabende entfernt.

Wie ersichtlich, bewirkt jede Schwingung der Membrane in *A* eine ebensolche in *B* [1]). Hiebei ist es gleichgiltig, ob, wie in der Figur gezeichnet, die Membrane beider Telephone gleichzeitig in derselben Richtung schwingen, oder entgegengesetzt, wie es der Fall wäre, wenn z. B. in *B* der Membrane nicht der Nordpol, sondern der Südpol des Magneten gegenüber stehen würde, weil die Charakteristik des erzeugten Tones nur von der Schwingungszahl abhängt.

Das Telephon reproduciert nun nicht nur einfache Töne, sondern auch die menschliche Sprache und jede Art von Geräusch. Allerdings sind die reproducierten Töne in der Station *B* weit schwächer, als die in der Sonderstation *A* gesprochenen, weil einerseits bei der Transformation von akustischer in elektrischer Energie, dann bei der Weiterleitung derselben und bei der Rückwandlung in akustische Energie, Energieverluste eintreten.

Man hat nun versucht, die Wirkung solcher einfacher (eine elektrische Kraftübertragung darstellende) Apparate zu verstärken, u. zw. dadurch, dass man einerseits den Sprechplatten einen durch die Erfahrung begrenzten, größeren Durchmesser (45 bis 100*mm*) und eine entsprechende Dicke (0·2 bis 0·42*mm*) gegeben hat; anderseits dadurch, dass man das magnetische Feld (durch Anwendung mehrerer Pole, durch eigenartige Formung der Magnete etc.) zu erhöhen versuchte, endlich indem man durch specielle Formung des Ge-

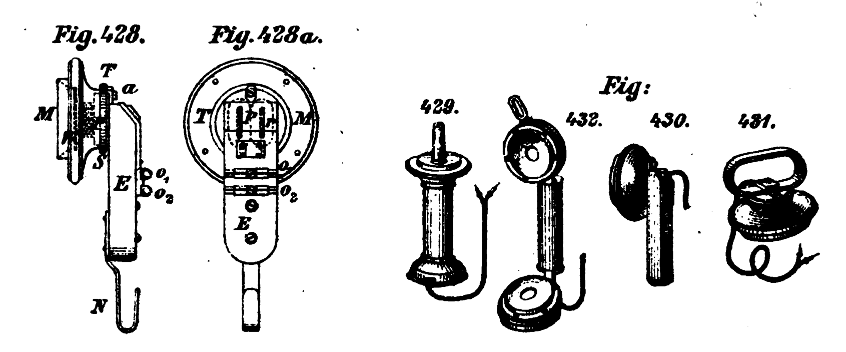
[1]) Hält man daher in der Nähe der Membrane des Telephons in *A*, z. B. eine tönende Stimmgabel mit der Schwingungszahl 440 pro Secunde (dem *a* entsprechend), so treffen dieselbe Anzahl Luftwellen die Membrane, welche daher ebenso oft schwingt, wodurch ebenso oft Inductionsströme erzeugt werden. Im Telephone *B* werden daher diese Inductionsströme ein 440maliges Schwingen der Membrane pro Secunde veranlassen, wodurch die gleiche Anzahl Luftwellen das Ohr des in *B* befindlichen Zuhörers treffen, daher derselbe den Ton *a* vernimmt.



häuses (eventuellen Einbau mitschwingender Platten) die deutliche Wiedergabe der Laute zu heben trachtete. Hiedurch sind eine Reihe von Telephon-Constructionen entstanden, welche die mannigfaltigsten Formen besitzen und von welchen zunächst die nachfolgenden, am häufig angewendeten hervorgehoben werden sollen.

2. Verschiedene Constructionen und Verwendung der Magnet-Telephone.

a) Das Präcisions-Telephon von Siemens & Halske (Figuren 428 und 428*a*) besteht aus einem Stahlmagneten *E*, auf dessen Polenden *P* weiche, bandförmige Eisenpolschuhe aufgesetzt sind, welche von einem Paar Elektromagnetrollen *r* (Fig. 428*a*) umgeben sind. Den ebenen Polflächen gegenüber befindet sich in großer Nähe eine freischwingende Eisenblechmembrane *W*. Diese ist in einem die Sprech-, bezw. Hörmuschel bildenden Kopfe *M* enthalten, welcher

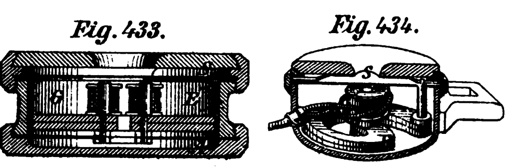


mittels Schraubengewindes *S* mit dem den Magneten tragenden Theile verbunden ist. Letzterer hat auf dem Gewinde eine Gegenmutter *T*, welche die Feinstellung des Abstandes zwischen Membrane und Magneten ermöglicht. Eine Pressschraube *a* dient zur Feststellung der Gegenmutter in der richtigen Lage. Der Bügel *N* und die Polklemmen o_1 o_2 vervollständigen den Apparat.

Diese Telephontype wird nun in verschiedener Ausstattung erzeugt.

Fig. 429 stellt eine aufrecht stehende Form (Postament-Telephon) mit Aufruftrompetchen, Fig. 430 eine Löffelform, Fig. 431 eine Bügelform dar.

In Fig. 432 ist ein Doppeltelephon (combiniertes Sprech- und Hörtelephon) gegeben. Außer diesen gibt es noch dosenförmige Telephonformen (Fig. 434) u. dgl. m. Aus den Dosentelephonen werden mit Zuhilfenahme von Metallbügeln sogenannte „Kopftelephone“ zusammengestellt, wie dies z. B. die Fig. 442, Seite 283 zeigt



b) Das Telephon von Aubry, welches in der Fig. 433 dargestellt ist, enthält im Gehäuse *G* noch eine Neusilberplatte *A* (oder aus sonstigem nicht magnetischen Metall erzeugt), auf welcher die Eisenkerne *E* aufgesetzt sind. Durch die schwingenden Bewegungen beider Platten wird ein größerer Wirkungsgrad, also deutlichere Wiedergabe der Stimme erreicht.

c) Die Fig. 434 stellt ein Dosentelephon, Typ Colson, vor, welches z. B. einen ringförmigen Magneten *E* besitzt. Letztere Form kommt bei Hörtelephonen sehr häufig vor.

Hinsichtlich der Construction und Wirkung der Magnet-Telephone ist nun Folgendes zu bemerken:

Beim Telephon sind sowohl magnetische, als auch mechanisch-akustische Wirkungen vorhanden, welche die Construction des Telephons beeinflussen. Der erstere Theil ist der wichtigere, während der letztere Theil nur geringe Abänderungen zulässt. Es ist zu unterscheiden, ob ein Telephon als „Sprech- und Hör-“, oder nur als „Hörtelephon“ verwendet werden soll.

Die Telephone, welche zum Sprechen verwendet werden, dimensioniert man größer, um kräftigere Membranschwingungen und in der Folge kräftigere Inductionsströme hervorzurufen. Hörtelephone, besonders wenn dieselben bei Mikrophonen Verwendung finden können, besitzen kleinere Dimensionen.

Die Größe der Sprechplatten ist abhängig von der Größe des Gehäuses; der Durchmesser der Platten variiert zwischen 45 bis 100*mm*. Die Stärke der Platten ist bereits früher angegeben worden. Zu dünne Eisenblechplatten, welche wohl leichter schwingen, haben keine guten Resultate ergeben. Mehrfache Versuche haben auch gezeigt, dass zur Übertragung Eisenblech-Membranen am vortheilhaftesten zu verwenden sind. Die Entfernung der Membrane von dem Magnetpol muss entsprechend sein, da sonst die Anziehungsverhältnisse auf die Sprech-, bezw. auf die Hörplatte ungünstig beeinflusst werden. Im allgemeinen diene als Anhaltspunkt, dass die Membrane so nahe dem Magnetpole sein soll, dass durch leichten Fingerdruck dieselbe auf den Magnet ankommt.

Hinsichtlich der Form und Anordnung der Magnete ist zu bemerken, dass im allgemeinen zweipolige Telephone günstiger als ein-, und vierpolige sind.

Die Form der Magnete selbst ist ohne wesentlichen Einfluss auf die Übertragung, dagegen ist die Stärke des Magneten, d. h. der Sättigungsgrad des Magnetismus und die Bewicklung der Inductionsspule des Telephons von großem Einflusse. Je kräftiger der Magnet — gleichgiltig ob Hufeisen-, stab- oder ringförmige Magnete, — desto lauter ist die Übertragung, da in diesem Falle die Inductionsströme kräftiger werden. Die Inductionsspulen sind mit 150 bis 300 Ohm Widerstand gewickelt.

Hinsichtlich der Schallbecher gibt es ebenfalls verschiedene Formen, u. zw. je nachdem dieselben das Ohr abschließen sollen oder nicht. Die erstere Art ist die ältere und wirksamere; doch machen sich starke Laute etwas unangenehm bemerkbar. Die Schallmuscheln werden in diesem Falle flach gewölbt geformt, oder mit Trichteransätzen oder Luftpolstern versehen. Die zweite Art, wo die Muschel so groß ist, dass das ganze Ohr darin Platz findet, verdankt ihr Entstehen wesentlich dem Sprechtelephon, bei welchem große Schallbecher deswegen vorkommen, um für die Schallwellen einen besseren Zugang zur Membrane zu schaffen. Da das Ohr nicht abgeschlossen ist, so ist die Wirkung des Telephons eine angenehmere; doch können hier wieder Nebengeräusche leichter nachtheilig auf den Hörenden einwirken.

Die Gehäuseform ist abhängig von der Construction des Telephons. Die verschiedenen vorgeführten Abbildungen zeigen diese genau. Die am häufigsten und für die Handhabung beliebteste Form ist die löffelförmige, bei welcher der Magnet in Leder montiert, oder mit einem Holzgriff umgeben ist.

Die Anforderungen, welche man an ein gutes Telephon stellt, sind:

α) kräftige Lautwirkung, und

β) gute und leichte Regulierfähigkeit, welche bei den meisten Typen durch das Verschieben des Magnetkernes selbst, mittels einer Presschraube, oder durch die Verrückung der Sprechmuschel erreicht wird.

Die Überprüfung von Telephonen umfasst:

1. den Vergleich mit einem anderen, bekannt guten, lautkräftigen Telephon (also mit einem einstellbaren Präcisions-Telephon) an bestehenden langen Luftlinien.

2. Durch Vergleich bei Zuschaltung von Widerständen in Ermanglung langer Leitungslinien. Gewöhnlich werden Widerstände bis zu 30.000 Ohm (und mehr) in die kurze Leitung eingeschaltet. Schwächt sich die Telephonübertragung bei etwa 2.000 Ω schon merklich ab, so ist das Telephon minder gut. Zu beachten ist hiebei, dass mit Rücksicht auf die individuelle Hördisposition des Prüfenden der Vergleich immer durch ein und dieselbe Person gemacht werden soll.

3. Durch Vergleich, wie vor, bei Zuschaltung von 2 bis 3 *mfd* Capacität, u. zw. für solche Telephone, welche für Kabelleitungen bestimmt sind.

Magnettelephone wendet man für einfache Anlagen von nicht beträchtlicher Ausdehnung, dann beim Feldgebrauche etc. als Sprech-, wie als Hörapparate an; bei stabilen Anlagen werden sie fast ausschließlich nur als Hörtelephone angewendet.

Sind die miteinander zu verbindenden Stationen weit von einander entfernt, so wird die Lautwirkung infolge des großen Leitungswiderstandes als auch der Capacität der Leitungen eine schwache; ferner wirken bei langen Leitungen die Ableitungen an den vielen Leiterstützpunkten nachtheilig ein, indem sie den Energieverlust vergrößern. Die Magnettelephone werden daher nur bis zu einer gewissen Entfernung (maximal etwa 60*km*) mit befriedigendem Erfolge verwendet werden, bei welcher Entfernung man also noch eine deutliche Lautwirkung erzielen kann. Allerdings ist diese Maximalentfernung hauptsächlich von der Construction und theilweise von der Zahl der eingeschalteten Stationen abhängig, welch letztere man mit etwa 6 bis 10 Stück festsetzen kann.

Versuche haben ergeben, dass gute Telephone noch bei Einschaltung von 30.000 Ohm gute Resultate lieferten, ferner dass die Zahl eingeschalteter Telephone ohne merklichen Einfluss blieb. Aus praktischen Gründen wird man wegen des Anrufes der einzelnen Stationen über etwa sechs Stück nicht hinausgehen, da die Signalgabe sehr erschwert und compliciert würde [1]).

---

[1]) Hinsichtlich der Entfernungsgrenzen ist Folgendes zu bemerken:

Die telephonische Verständigung wird durch Widerstand, Selbstinduction, Capacität und Isolationszustand, ferner durch die Magnetisierbarkeit des Leitungsmaterials beeinflusst. Hiezu kommt noch der Einfluss der Geber und Empfänger und der gegenseitigen Induction von Leitungen. In oberirdischen einfachen Leitungen gelingt die Verständigung bei Eisendraht bis 100*km*, und bei doppelten Kupferleitungen bis auf 1.600*km*. Für Kabel bildet das Product: Widerstand R mal Capacität C einen



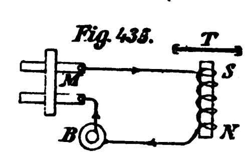
Die Telephone besitzen gegenüber den nun folgenden Mikrophonen den Vortheil der Einfachheit, Dauerhaftigkeit, der örtlichen Unabhängigkeit und sprechen überdies metallisch rein an. Störungen sind sie viel weniger ausgesetzt als die Mikrophone.

Der Übelstand der geringen Lautwirkung ist nun durch das von Hughes (sprich: Jus) 1878 zuerst construierte Mikrophon beseitigt worden.

II. Das Mikrophon.

1. Princip.

Hughes hat das Princip der directen Energie-Umwandlung verlassen, indem er in den Schließungskreis einer galvanischen Stromquelle einen veränderbaren Widerstand einschaltete, der sich in Übereinstimmung mit den Schallwellen (Schwingungen der Luft) ändert.



Die Wirkungsweise des Mikrophons ist durch die Fig. 435 veranschaulicht.

M bezeichnet das Mikrophon, bestehend aus drei Kohlenstäbchen, wovon eines an einer schwingenden Platte befestigt, quer über den beiden anderen liegt, so dass der Strom der Batterie *B* beide Auflageflächen nacheinander passiert und sodann die Windungen eines in der Empfangsstation angebrachten Telephons *T* durchfließt, ehe er zum andern Pol der Batterie zurückkehrt.

Spricht man gegen das Mikrophon *M*, so treffen die Schallwellen auf das obere Kohlenstäbchen und bewirken eine Vergrößerung oder Verringerung des Druckes des oberen Kohlenstäbchens auf die beiden unteren. Wird der Druck vergrößert, so findet eine Verbreiterung beider Contacte, mithin eine Verringerung des Gesammtwiderstandes im Stromkreise statt, was nach dem Ohm'schen Gesetze zur Folge hat, dass nunmehr der Strom im gesammten Stromkreise mit vermehrter Intensität circuliert. Diese größere Intensität des Stromes bewirkt im Telephone *T*, je nach der Stromrichtung eine Stärkung oder Schwächung des Magnetismus des Magnetkernes *NS* (z. B. in der Figur eine Stärkung), daher eine Schwingung der Membrane *T*.

Umgekehrt, hat eine durch die Schallwellen verursachte Verringerung des Druckes des oberen Kohlenstäbchens eine Verkleinerung der Contacte, daher eine Verminderung der Stromintensität zur Folge, welche ihrerseits eine abermalige Schwingung der Telephonmembrane *T* bewirkt. Es werden somit die auf das Mikrophon einwirkenden Schallwellen eines Tones oder jene der menschlichen

---

allgemeinen, praktischen Maßstab für die Güte der Verständigung, und gibt Precce folgende Vergleichszahlen:

Für $CR = 15.000$	ist die Verständigung	unmöglich,
„ „ $= 12.000$	„ „ „	möglich (obere Grenze des Betriebes),
„ „ $= 10.000$	„ „ „	gut,
„ „ $= 7.500$	„ „ „	sehr gut,
„ „ $= 5.000$	„ „ „	ausgezeichnet,
„ „ $= 2.500$ und darunter	ist die Verständigung	vollkommen.

Die Stromstärke im Telephon hat einen Wert von etwa 10^{-4} Ampère; sicher hörbar sind noch Ströme von 10^{-6} bis 10^{-7} (Elektrotechnische Zeitschrift 1894).

Sprache hinsichtlich ihrer Anzahl von der Telephonmembrane genau reproduciert, und sie bewirken durch Vermittlung der Luft die Wiedergabe des Tones oder der Sprache.

Wie ersichtlich, hängt die Wirkung des Mikrophons nur von der Widerstandsänderung an den Contactpunkten ab, daher man bestrebt ist, dieselbe möglichst groß zu machen, damit die Veränderungen der Stromintensität und folglich mit dieser die Wirkung auf das Telephon möglichst bedeutend werden.

Als erstes Mittel hiezu dient die Wahl eines entsprechenden Materials für das Mikrophon. Erfahrungsgemäß bewirkt die Kohle bei einer Veränderung des Druckes die größten Widerstandsänderungen, daher sie am besten hiezu geeignet ist.

Als zweites Mittel dient die Verringerung des Gesammt-Leitungswiderstandes[1]). Da nun aber bei längeren Leitungen der Widerstand zunimmt, der Empfangsapparat (das Telephon) selbst schon etwa 150 Ω und mehr Widerstand besitzt, wird die Wirkung der in der Fig. 435 dargestellten Anordnung für größere Entfernungen eine ungenügende.

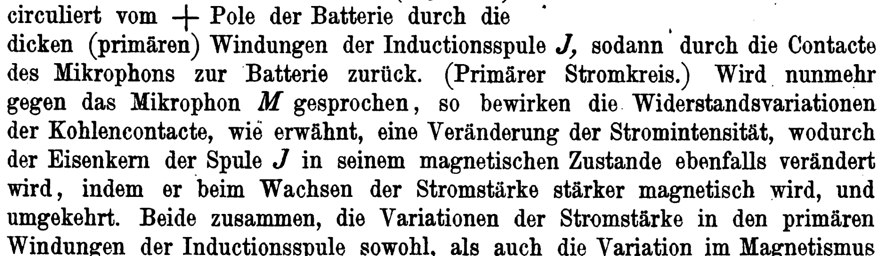


Fig. 436.

Um dieses Verhältnis zu erreichen, trifft man folgende, von Edison und Gray fast gleichzeitig erfundene Anordnung:

Der Strom der Batterie B (Fig. 436) circuliert vom + Pole der Batterie durch die dicken (primären) Windungen der Inductionsspule J, sodann durch die Contacte des Mikrophons zur Batterie zurück. (Primärer Stromkreis.) Wird nunmehr gegen das Mikrophon M gesprochen, so bewirken die Widerstandsvariationen der Kohlencontacte, wie erwähnt, eine Veränderung der Stromintensität, wodurch der Eisenkern der Spule J in seinem magnetischen Zustande ebenfalls verändert wird, indem er beim Wachsen der Stromstärke stärker magnetisch wird, und umgekehrt. Beide zusammen, die Variationen der Stromstärke in den primären Windungen der Inductionsspule sowohl, als auch die Variation im Magnetismus

---

[1]) Nimmt man beispielsweise an, dass durch die Schallwellen und die hiedurch bedingte Contactänderung der Widerstand des Mikrophons von 25 bis 50 Ω variiert, dass ferner der Widerstand des gesammten übrigen Stromkreises (Leitung und Telephon) 100 Ω betrage, so lässt sich die Veränderung der Stromintensität in folgenden Zahlen ausdrücken:

Minimum der Stromstärke $= \frac{E}{50+100}$ Ampère, Maximum der Stromstärke $= \frac{E}{25+100}$ Ampère, wobei E die elektromotorische Kraft der Batterie in Volt bedeutet.

Das Verhältnis des Minimums zum Maximum ist daher: $\frac{1}{150} : \frac{1}{125} = \frac{1}{6} : \frac{1}{5}$ Ampère, eine Relation, welche eine nur sehr geringe Schwankung der Stromstärke darstellt, daher die Wirkung auf das Telephon keine besondere ist. Mit dem Wachsen des Leitungswiderstandes verschlechtert sich naturgemäß noch mehr dieses Verhältnis.

Wäre jedoch bei obiger Annahme der Widerstand des Stromkreises ohne Mikrophon blos 1 Ω, so schwankt der Widerstand zwischen 26 und 51 Ω, das Verhältnis der Stromintensitäten ist sodann wie $\frac{1}{26} : \frac{1}{51}$, daher fast wie 2 : 1, d. h. die Schwingungsweiten der Stromstärke sind weitaus größer, infolge dessen auch die Wirkung auf das Telephon.

des Kernes, erzeugen in den zahlreichen, dünnen (secundären) Windungen der Spule *J* Inductionsströme, und diese erst werden in die Telephone *T'* der nächsten Stationen *D*, *F* geführt, woselbst sie die schon früher beschriebenen Wirkungen ausüben.

Durch diese Anordnung ist nunmehr erzielt, dass der Widerstand des primären Stromkreises, in welchem das Mikrophon eingeschaltet ist, durch Wahl eines entsprechenden Drahtes thatsächlich so gering gemacht werden kann, dass er gegenüber den bedeutenden Widerstandsänderungen der Kohlencontacte kaum ins Gewicht fällt. Durch die Bewicklung des secundären Stromkreises mit einer großen Anzahl (bis 4000 und mehr) Windungen dünnen Drahtes wird die Spannung der erzeugten Inductionsströme eine so hohe, dass diese auch den Widerstand sehr langer Leitungen und zahlreicher in denselben eingeschalteter Telephone zu überwinden im Stande sind, daher sie ihre Wirkung noch auf sehr weite Distanzen ausüben können.

Die Intensität und Spannung des primären Stromes soll derart sein, dass einerseits ein kräftiger Strom das Mikrophon und die Inductionsspule durchfließe, anderseits jedoch zwischen den Kohlencontacten keine Funkenbildung auftrete.

Als Stromquelle eignet sich am besten eine großplattige Batterie von geringem inneren Widerstande (Leclanché), und wird diese, je nach dem Widerstande des Mikrophons und der primären Windung der Inductionsspule, neben- oder hintereinander, eventuell in Gruppen geschaltet [1]).

Nach dem vorstehend beschriebenen Principe besteht sonach jede Mikrophonstation aus zwei unabhängigen Stromkreisen, u. zw.:

a) dem primären, enthaltend nach Fig. 436 die Elemente *E*, das Mikrophon *M*, die primäre Wicklung der Inductionsspule *J* und eventuelle Unterbrechungsvorrichtungen (Ausschalter) *s*,

b) dem secundären, enthaltend die secundäre Wicklung der Inductionsspule *J*, das Magneto-Telephon *T* und die Verbindungsleitung.

---

[1]) Beispiel. Ein mehrcontactiges Mikrophon von 50 Ω Widerstand, welches beim Sprechen von etwa 30 bis 50 Ω variiert und eine primäre Spule von etwa 1·5 Ω besitzt, sei gegeben. Die hiezu nothwendige Batterie besteht aus sechs größeren Leclanché-Elementen, von welchen je zwei Elemente hintereinander und je drei Gruppen parallel geschaltet werden.

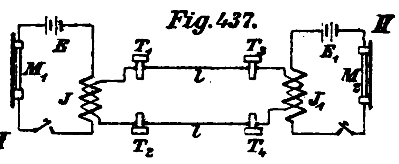
Sei die Spannung des einzelnen Elementes 1·3 Volt, der innere Widerstand des einzelnen Elementes 3 Ω, so variiert die Stromstärke im eingeschalteten Mikrophon zwischen den Grenzen: $\frac{2 \times 1 \cdot 3}{1 + 1 \cdot 5 + 50}$ Ampère bis $\frac{2 \times 1 \cdot 3}{1 + 1 \cdot 5 + 30}$ Ampère, also beiläufig zwischen $\frac{1}{26}$ bis $\frac{1}{16}$ Ampère.

Sämmtliche sechs Elemente, hintereinander geschaltet, würden wohl eine größere Stromstärke ergeben, allein die Elemente erschöpfen sich rasch durch Polarisation, und weiters würde man die Wirkung des Mikrophons hiedurch kaum vermehren, da bei einmal erreichter Sättigung des Magnetismus des Spulenkernes die Vermehrung der Stromstärke keinerlei Einfluss übt, hingegen blos die Variationen der Stromintensität beim Sprechen ausschlaggebend sind.

Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, zu den Eisenkernen der Spule möglichst weiches Eisen (geglühten Draht) zu verwenden.

Das Mikrophon dient nur zum Sprechen, also überhaupt nur als Sender, während das Telephon als Empfänger benützt wird.

Will man an zwei von einander entfernten Stellen sprechen und hören, so müssen die Mikrophone M_1 M_2 (Fig. 437) der Stationen I und II, miteinander verbunden werden. Die Magneto-Telephone T_1—T_4 sind hiebei im secundären Stromkreise der Inductionsspulen J gewöhnlich hintereinander verbunden.


Fig. 437.

2. Die Mikrophonconstructionen.

Die gegenwärtig benützten Mikrophone unterscheiden sich nun von einander meist in der Art des Contactes, ob derselbe zwischen Kohle und Kohle oder zwischen Metall und Kohle stattfindet. Dieser Contact lässt noch, abgesehen von den Variationen in den Sprechplatten, eine Reihe von Modificationen zu, u. zw. *a*) mit festen Contacten (z. B. eincontactige von Blake etc., mehrcontactige von Ader etc.), *b*) mit veränderlichem Zwischenleiter aus pulverförmigen (Edison) oder grobkörnigen Leitern (z. B. Typ Berliner etc.), — welche in der Praxis sodann zu verschiedenen Mikrophon-Constructionen geführt haben.

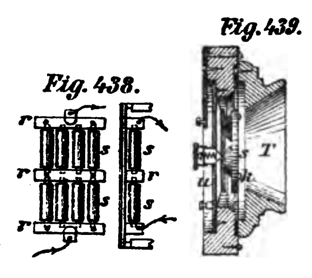
Die Bedingungen, welche an gute Constructionen gestellt werden, sind:

α) genügende Empfindlichkeit, um auch die schwächsten Luftschwingungen zu reproducieren, sonach Schaffung vieler Berührungspunkte (Kohlenpulvermikrophone);

β) entsprechende Regulierfähigkeit, — Bedingungen, welche oft nicht mit einander zu vereinigen sind.

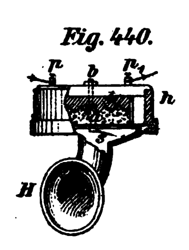
Im nachfolgenden sollen die wichtigsten Constructionen kurz angeführt werden:

a) Beim Ader'schen Mikrophon (Fig. 438) ist in einem pultförmigen Kästchen eine Membrane von Tannenholz, deren Unterseite einen Rost von Kohlenstäbchen *s* trägt, die in 2 bis 3 Reihen angeordnet sind. Sie greifen mit ihrem Endzapfen in prismatische Kohlenstücke *r* ein. Dieses Mikrophon ist das einfachste und bekannteste, lässt aber keine Regulierung der Contacte zu, welche mit der Zeit sich abnützen und eine Veränderung der Wort-Reproduction bewirken. Überdies ist die Holzmembrane empfindlich gegen Feuchtigkeit und erfordert einen etwas gleichmäßig tempairierten und möglichst trockenen Raum für die Aufstellung der Stationen.


Fig. 438. Fig. 439.

b) Das Siemens'sche Dreikegel-Mikrophon (Fig. 439) besteht im wesentlichen aus einem Schalltrichter *T*, mit welchem eine Membrane *s* fest verbunden ist, die eine Kohlenplatte *k* trägt, an welcher drei kleine Kohlenkegel *t* angebracht sind, welche durch eine gegenüberliegende zweite, mit konischen Löchern versehene Platte *u* gehalten werden. Diese zweite Platte ist auf einer besonderen Scheibe aus sehr biegsamem Material befestigt, welche

ihrerseits mit ihrem Rande am Gehäuse befestigt ist. Auf die Mitte der mit den Löchern versehenen Platte drückt eine Feder, welche mittels einer Schraube beliebig eingepresst werden kann, wodurch ein gleichmäßiger, regulierbarer Druck der drei Kegelgrundflächen auf die vordere Platte bewirkt wird. Durch Drehung des mit der Membrane fest verbundenen Schalltrichters wird die Kohlenplatte auf den Grundflächen der Kegel schleifen und so neue Berührungspunkte schaffen. Von der zweiten Platte führt eine leichte, biegsame Zuleitung zur Leitung, während die Verbindung zwischen der ersten Platte mit der Leitung durch die Membrane unter Zuhilfenahme eines Schleifringes hergestellt ist.

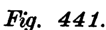

Fig. 440.

c) Das Berliner Mikrophon enthält eine meist wagrechte Sprechplatte *s* (Fig. 440), gegen welche die Schallwellen mittels eines gebogenen Trichters *H* geleitet werden. Nahe über der Sprechplatte ist ein cylindrischer Kohlekörper *k* angebracht, dessen untere Fläche mit ringförmigen Einschnitten versehen ist, und mittels der Schraube *b* am Gehäusedeckel *h* befestigt wird.

Der Raum zwischen diesen Einschnitten und der Sprechplatte ist mit feinkörnigem Kohlenschrot *a* ausgefüllt, welcher Schrot mittels einer den Kohlencylinder bedeckenden weichen Filzbekleidung, die sich auf die Kohlenplatte aufstützt, eingeschlossen ist. $p p_1$ sind Polklemmen.

Diese Mikrophone wirken auf sehr große Entfernungen und besitzen eine sehr deutliche Lautwirkung.

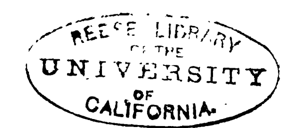
Die eincontactigen Mikrophone sind im allgemeinen etwas empfindlicher, wie die vielcontactigen (ausgenommen die Kohlenpulver-Mikrophone), dagegen häufiger Störungen ausgesetzt als die letzteren. Die Reguliervorrichtungen bestehen in der Veränderung des Druckes der Berührungsflächen des Mikrophons, was durch Press- oder Stellschrauben erreicht wird, welche auf den beweglichen Theil des Mikrophons drücken.


Fig. 441.



Die Mikrophonstationen können weiters je nach ihrer Verwendungsweise noch verschieden ausgestaltet werden. Stationen für stabile Zwecke (in Haus- und Stadtfernsprechanlagen, Fig. 441) werden anders gestaltet sein, als Stationen für mobile Zwecke (z. B. bei Militär-Telephonen), welche letztere überdies compendiös und leicht gestaltet werden müssen. Auch ist der Verwendungsort maßgebend, ob z. B. viele und starke Geräusche (Abfeuern der Geschütze, Manipulationen bei denselben) in der Nähe auftreten oder nicht. Im letzteren Falle empfiehlt es sich, doppelte Hörtelephone anzuwenden (wie in Fig. 441), welche gestatten, durch entsprechenden Abschluss (Luftpolsterung) beide Ohren gut zu verschließen. Überdies sind in solchen Fällen besonders lautkräftige und widerstandsfähige Stationen zu verwenden.

Endlich ist noch zu unterscheiden, ob Stationen an den Enden einer telephonischen Leitung (Linie) liegen, oder zwischen anderen Stationen ge-



schaltet werden, — also End- und Mittelstationen. Die Construction des Mikrophons bleibt hiebei wohl dieselbe, doch treten geringfügige Änderungen der Ruf- oder Weckervorrichtungen, bezw. deren Schaltung auf.

Als Beispiel einer mobilen Mikrophonstation ist in der Fig. 442 eine Einrichtung von Stögermayer dargestellt. In der um den Leib zu schnallenden Mikrophontasche sind das Mikrophon, 2 kleine Elemente und das Inductorium nebst einer entsprechenden Anzahl von Klemmen enthalten.

Fig. 442.



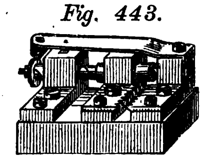
Das Mikrophon steckt an der Unterseite der Tasche und wird durch getrennte Federklemmen gehalten. Beim Herausnehmen des Ader'schen Mikrophons wird durch einen kleinen Ausschalter selbstthätig der Stromkreis geschlossen, beim Hineinstecken aber geöffnet. An die Tasche, u. zw. im secundären Stromkreise liegend, sind zwei Hörtelephone durch den Kopfbügel hintereinander geschaltet und eine Verbindungsleitung zur Linienleitung angeschlossen. Als Aufrufsignal gilt das Unterbrechungsgeräusch beim Herausziehen des Mikrophons aus seiner Federfassung.

Ähnliche in Cassettenform gehaltene und meist mit Trockenelementen adjustierte Stationen werden für Feldzwecke vielfach verwendet. Für die Aufrufsignale sind dann phonische Aufrufmittel beigegeben.

Als Elektricitätsquellen für das Mikrophon eignen sich alle im Handel vorkommenden Elemente; meist verwendet man pro Station zwei Leclanché-Elemente. Man kann jedoch auch Trockenelemente (z. B. Type Hellesen) mit Vortheil verwenden.

Als Blitzschutzvorrichtungen kommen Spindelblitzableiter von Siemens & Halske (Fig. 443), ferner die später beschriebenen Plattenblitzableiter zur Verwendung. Beim Spindelblitzableiter (Fig. 443) sind drei rechtwinklige Messingschienen vorhanden, von welchen die rechte mit dem Apparate, die linke mit der Leitung und die mittlere mit einer Erdleitung in Verbindung steht; zwischen diesen Schienen kann der Länge nach eine cylindrische Spindel verschoben werden, welche im mittleren Theile mit einem feinen, isolierten Kupferdraht umwickelt ist; die beiden Spindelenden sind mit den äußeren Schienen in Verbindung. Beim Blitzschlage schmilzt der feine Kupferdraht und der Draht tritt dadurch mit der mittleren Schiene in Verbindung, wodurch die Erdleitung eingeschaltet wird.

Fig. 443.



Bei Telephonen ist ferner noch die Matzenauer'sche Blitzschutzvorrichtung mit Seidenband-Isolierung (zwischen Linie und Erde) in Verwendung.

Für Freileitungen nimmt man Stangenblitzableiter (Fig. 371) oder Vacuumblitzableiter u. a. m. Von großer Wirksamkeit sind auch Blitzableiter aus Kohlenplatten, welche durch Papierlagen von einander getrennt werden. Eine poröse Kohlenplatte wird mit der Leitung, die andere mit der Erde verbunden. Die Empfindlichkeit solcher Blitzableiter kann durch Übereinanderlegung mehrerer Kohlenplatten gesteigert werden.

Die Prüfung von Mikrophonen geschieht in analoger Weise, wie bei den Magnetotelephonen.

Die Mikrophone haben gegenüber den Magnetotelephonen den Vortheil besserer Lautwirkung und weitgehendster Anwendungsfähigkeit[1]; sie sind aber complicierter und Störungen leichter unterworfen.

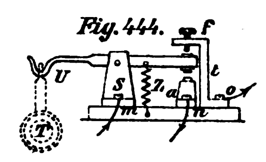
3. Signalgebung.

Zur Einleitung einer telephonischen Correspondenz, sowie zur Abschließung derselben müssen Signale gegeben werden. Die Mittel hiezu sind verschieden:

a) Beim Magneto-Telephon kann man sich für kurze Strecken und in Räumen mit keinem Geräusch, einfacher Pfeifchen oder Trompetchen bedienen, wie z. B. ein solches von Siemens & Halske in der Fig. 429 mit dem Telephon dargestellt ist. Dieselben sind Zungenpfeifchen, bei welchen durch Hineinblasen eine Zunge in Schwingungen geräth; diese Schwingungen werden durch die Luft der Telephonmembrane mitgetheilt. Reicht ein solches Signal nicht mehr aus, so müssen

b) beim Telephon, wie beim Mikrophon, elektrische Klingelwerke (Batteriewecker oder Wechselstromwecker) oder auch phonische Aufrufvorrichtungen verwendet werden. Um die Benützung einer und derselben Leitung sowohl für das Signalisieren, als auch für das Telephonieren zu ermöglichen, sind selbstthätige Ein- und Ausschaltvorrichtungen anzuwenden.

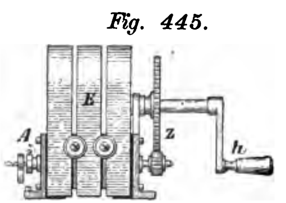
Fig. 444.



Dieselben bestehen nach der Fig. 444 aus einem um *S* drehbaren Hebel *U*, an welchen das Telephon *T* angehängt wird. Hiedurch wird der Hebel *U* herabgezogen und derselbe an Contact *f* angepresst, wodurch der Wecker eingeschaltet wird. Durch Bethätigung des Tasters *u* (siehe das Schema, Fig. 448 und 449) kann nach der anderen Station signalisiert werden. Nach erfolgtem Retoursignal wird zum Sprechen das Telephon abgenommen und durch den Zug der Feder *Z* der Hebel *U* gegen *a* gedrückt, und somit das Telephon eingeschaltet. Es kann jetzt nach der anderen Station gesprochen werden. Nach Beendigung der Correspondenz wird das Telephon wieder an den Hacken *U* angehängt. *m*, *n*, *o* sind die bezüglichen Leitungsanschlüsse.

In den meisten Fällen (insbesondere für lange Strecken und mehreren Zwischenstationen) wird das Anrufsignal mittels Inductionsapparate gegeben. Hiedurch fallen die Elemente weg und als Stromquelle wird ein magnetoelektrischer Rotationsinductor, als Klingelwerk ein Inductionswecker (Wechselstromwecker) benützt, welch beide wieder so geschaltet werden, dass sie ebenfalls das Signalisieren und Telephonieren auf einer und derselben Leitung gestatten. Im Detail besteht der gebräuchliche Inductor (Fig. 445) aus einer Anzahl Stahlmagnete *E*, zwischen welchen ein Siemens-T-Anker *A* (siehe Fig. 136 auf Seite 95) rotieren kann. Die Drehung des Ankers, welche durch eine Kurbel *h* bewirkt wird, erzeugt in denselben Wechselströme, welche zur Bethätigung

Fig. 445.



[1]) Nach den jüngsten Versuchen auf der Strecke Bodenbach-Triest (etwa 1100 *km*) wurden vollkommen befriedigende Resultate erzielt.

der Wechselstromwecker verwendet werden. Zur Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit des Ankers werden Zahnradübersetzungen z eingebaut.

Zuweilen commutiert man den Strom und verwandelt den erzeugten Wechselstrom in Gleichstrom, in welchem Falle man dann Klingelwerke für Gleichstrom anwenden muss, welche den Batterieweckern ähnlich sind. Diese Inductoren liefern im Vergleich zu den Elementen eine viel höhere Spannung (30 bis 40 und mehr Volt) und sind sehr einfach und dauerhaft; desgleichen sind sie gegenüber einer großen Zahl von Elementen auch billiger, und es entfällt jede Instandhaltung. Ihre Anwendung ist insoferne eine andere, als die Bildung einer gemeinsamen Stromquelle, wie bei den Batterien im allgemeinen üblich, hier unmöglich ist. Es muss daher bei jeder Sprechstelle, von welcher aufgerufen wird, ein Inductionsapparat vorhanden sein.

Der Aufruf kann auch durch die erzeugten Inductionsströme eines kleinen Selbstunterbrechers, ähnlich den gewöhnlichen Klingelwerken, geschehen. Der Strom der Batterie B (Fig. 446) wird in die Feder F geführt, aus welcher er durch den regulierbaren Contact a in den Ständer S und sodann durch die primäre Windung zur Batterie zurück geht. In Folge der Magnetisierung des Eisenkernes wird die Feder F angezogen, der Contact a und mit ihm der Strom unterbrochen; nunmehr verschwindet der Magnetismus des Kernes wieder, die Feder kehrt zum Contacte a zurück, schließt den Strom von neuem u. s. w.

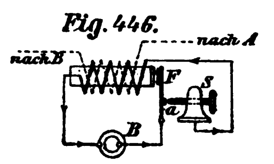


Fig. 446.

Durch die rasche Folge des Entstehens und Verschwindens des Magnetismus entstehen in den secundären Windungen Inductionsströme, welche in den Telephonen der Stationen A und B einen lauten Ton verursachen. (*Phonischer Aufruf oder Vibriervorrichtung.*)

4. Schaltungsweisen der Telephone und Mikrophone im allgemeinen.

Die Fernsprechapparate können in verschiedener Weise mit einander verbunden werden. Es richtet sich dies einerseits nach der Zahl der zu verwendenden Apparate, der Entfernung derselben von einander, anderseits nach der inneren Construction der Apparate.

a) *Telephone* können sowohl hintereinander, als nebeneinander geschaltet werden.

α) Bei der *Hintereinanderschaltung* (Fig. 447) können entweder Doppelleitungen oder einfache Leitungen (mit Erdrückschluss) verwendet werden. Da mit der Vergrößerung der Zahl der hintereinander zu schaltenden Apparate T_1 T_2 ... der Widerstand wesentlich wächst, sonach die Lautwirkung abnimmt, ist die Zahl der Apparate (etwa 10 bis 15 Stück), dann die Länge der Leitung (Maximum 100*km* bei sehr guten Telephonconstructionen) eine begrenzte.

Fig. 447.

Der Aufruf kann hier mit phonischen Rufapparaten oder mit elektrischen Klingelwerken, bezw. mit Inductionsapparaten geschehen. Die Correspondenz als auch das Signal wird von allen Stationen gehört; es ist daher die Unter-

scheidung der Stationen durch Aufstellung besonderer Aufrufsignale nothwendig. Die Einrichtung von Telephonstationen bei Anwendung von galvanischen Klingelwerken zeigt die Fig. 448.

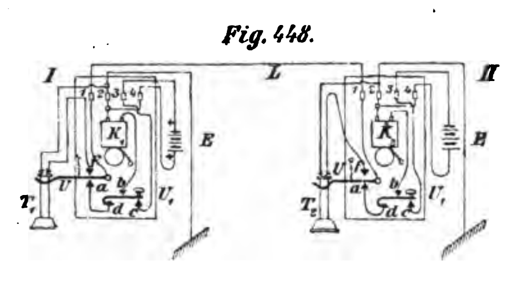


Fig. 448.

In den Figuren bedeutet: K_1 K_2 das Klingelwerk der beiden Stationen I und II. T_1 T_2 die Telephone, U die Umschalthebel, U_1 die Taster, *a b c d f* Contacte, 1, 2, 3, 4 Klemmenverbindungen, E die galvanische Batterie, L die Telephonleitung. Soll z. B. Station II von I aufgerufen werden, so drückt I den Taster U_1 nieder. Der Strom von E geht über Klemme 4, 2 in die Erde, dann zur Station II, oder über 2, Klingel K_2 zu b, d, a, U, 1, durch L zur Station I, 1, U, a, d, c, 3 zur Batterie E.

Nehmen nach dem Retoursignal von II beide Stationen das Telephon T_1 T_2 vom Hebel U, so gehen die Telephonströme von T_1 über 2, Erde, zur Station II, über 2, T_2 zu f, U, 1, L, in Station I, über 1, U, f ins Telephon T_1.

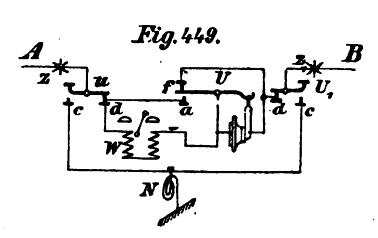


Fig. 449.

Die Fig. 449 stellt eine Mittelstation mit Inductionsaufruf dar. W ist der Wecker, U der Umschalthebel, u u_1 sind zwei Taster, z ein Blitzschutz. Soll nach A oder B gesprochen werden, so wird u oder u_1 niedergedrückt. Der Stromverlauf ergibt sich aus der Figur.

Jede Station soll, sobald eine Freileitung damit in Verbindung kommt, mit einem Blitzableiter versehen sein und kommen hiebei die Spindelblitzableiter von Siemens & Halske und andere Blitzschutzvorrichtungen zur Anwendung.

Die Hintereinanderschaltung wird im allgemeinen, ferner im speciellen für Feldzwecke angewendet, da die Leitungen einfach und billig sind.

β) Die Nebeneinanderschaltung ist in der Praxis nicht üblich, kann jedoch ausnahmsweise, z. B. bei Musikübertragungen auf Entfernung angewendet werden, wo viele Stellen (viele Personen) gleichzeitig hören sollen. Aufruf und Correspondenz wird von allen Stationen gehört.

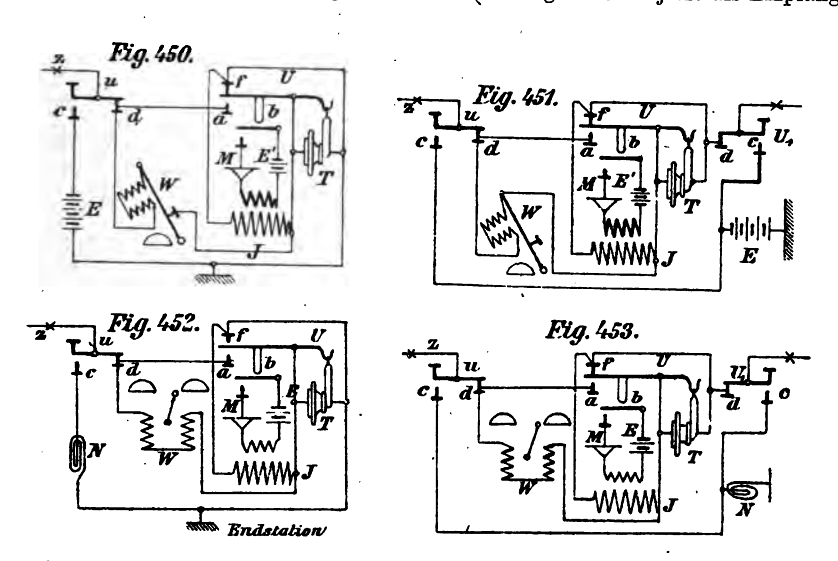
b) Mikrophone. Die Schaltung der Stationen ist eine unterschiedliche, je nachdem man Stationen mit Batteriebetrieb (Figuren 450, 451) oder mit Inductor für Inductionsbetrieb (Figuren 452, 453) hat.

In den genannten Figuren bedeutet: E die Läutewerksbatterie, E^1 die Mikrophonbatterie, I das Inductorium, U einen selbstthätigen Ausschalter, u und u_1 Taster, N den Inductionsaufruf, ferner a, b, c, d, f Contacte, z Blitzschutze.

Der Unterschied zwischen einer End- (Figuren 450, 452) und einer Mittelstation (Figuren 451, 453) besteht darin, dass die Mittelstation mit zwei Wecktasten u und u_1 ausgerüstet ist, und dass der ankommende Strom seinen Weg durch die Mittelstation zur nächsten nehmen muss. Die End-

station ist mit der Erde verbunden, während die Mittelstation nur bei der Batterie *E*, bezw. beim Inductor *N* mit der Erde verbunden ist.

Der Stromverlauf in einer Station (Fig. 450) ist folgender: Hängt das Telephon *T* am Hebel *U*, so ist dieser an Contact *f* angeschlossen und infolge dessen wird beim Niederdrücken des Tasters *u* (also beim Aufruf für die nächste Station) der Strom der Localbatterie *E* über *c*, *u*, *z* in die nächste Station *B* eintreten. Dort gelangt der Strom (die Fig. 450 ist jetzt als Empfangs-



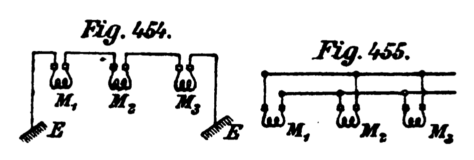
station zu betrachten) über *z*, *u*, *d* zum Wecker *W*, nach *U*, *f*, dann wieder zur Erde und durch diese zurück zur Localbatterie *E*. Es wird die Station *B* nunmehr aufgerufen, das Retoursignal geben. Nehmen sodann beide Stationen das Hörtelephon *T* vom Bügel *U*, so gehen bei der Correspondenz die Telephonströme von *T* in die Erde zur nächsten Station, dort treten sie bei der Erdleitung ein, führen über *T* in den Hebel *U*, Contact *a*, *d*, *z* in die Telephonleitung, durch diese wieder in die Station I (Fig. 450 jetzt als Station I wieder gedacht), über *z*, *u*, *d*, *a*, *U* in das Telephon der Station I. Durch den Zug des Telephons *T* legt der Hebel *U* sich gegen den Contact *f* und die Localbatterie E^1 ist ausgeschaltet. Hingegen wird bei Abnahme von *T* der Hebel *U* gegen Contact *a* sich legen und gleichzeitig durch den Stift *b* den Primärstromkreis der Localbatterie E^1 schließen; das Mikrophon ist gleichzeitig mit dem Telephon eingeschaltet worden.

Bei Stationen mit Batterie-Anruf müssen die Wecker *W* bei Hintereinanderschaltung von drei und mehr Stationen mit Selbstausschluss oder mit Weckerrelais versehen sein; in letzterem Falle liegen die Wecker im Localschluss.

Bei Inductionsstrombetrieb kommt es auf die Stärke der Inductoren an, wie viele Stationen hintereinander geschaltet werden können.

Sind mehrere Mikrophonstationen mit einander zu verbinden, so können die Mikrophonstationen ebenfalls hintereinander oder nebeneinander geschaltet werden.

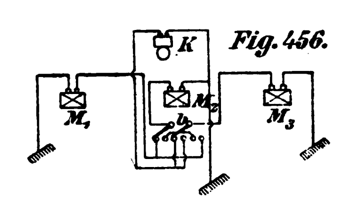
α) Die Hintereinanderschaltung (Fig. 454) wird in der Praxis fast ausschließlich angewendet und hiebei meist die Erde als Rückleitung benützt. Die Telephonleitungen führen auf dem Gestänge der Telegraphenlinien und müssen in diesem Falle die Mikrophone M_1 M_2 M_3 mit entsprechend construierten Nebenapparaten (Condensatoren) versehen werden. In neuerer Zeit wendet man meist Doppelleitungen an.



β) Die Parallelschaltung (Fig. 455) wird ausnahmsweise dort angewendet, wo viele Stationen gleichzeitig wirken sollen, z. B. bei Musikübertragungen; im allgemeinen wird diese Schaltungsweise jedoch nicht angewendet.

Der Aufruf geschieht in derselben Weise, wie bei Telephonstationen, nur wenn Condensatoren in Anwendung kommen müssen, geschieht der Aufruf ausschließlich durch Inductionsapparate.

5. Telephonanlagen. Sehr häufig tritt der Fall ein, dass eine größere Zahl hintereinander geschaltete Stationen auf größere Entfernungen nicht mehr den an sie gestellten Anforderungen entsprechen. Es liegt dies hauptsächlich in der Compliciertheit des Anrufes. Anderseits wird oft direct verlangt, dass nur eine oder gewisse Stationen mit einer Station in Verbindung sein sollen, dass aber die Möglichkeit geboten sei, auch diese sonst getrennten Stationen untereinander in Verbindung zu bringen.



Die Mittel hiezu sind nun sehr verschieden. Bei drei Stationen M_1 M_2 M_3 (Fig. 456) genügt oft die Mittelstation M_2, um mit Hilfe von Umschalter *b* nach rechts oder links getrennt sprechen zu können.

Unter Umständen wird von jeder Station eine separate Leitung zu einer gemeinschaftlichen Station, „Centralstation“ genannt, geführt.

Bei vielen Sprechstellen fasst man oft mehrere Stationen zu einer „Gruppe“ zusammen, die man dann mit einer „Centrale“ verbindet.

Zum Anruf kommen die bereits beschriebenen Läutewerke zur Anwendung. Die Centrale verbindet sodann mit Hilfe eines „Generalumschalters“ die correspondierenden Linien untereinander.

Aus Vorstehendem ersieht man aber schon, dass die Anforderungen, welche an Telephonanlagen gestellt werden, verschieden sein können, und dass insbesondere nach den localen Bedürfnissen, welchen eine Fernsprechanlage entsprechen soll, auch die Einrichtung der Telephonanlage eine verschiedene sein wird. Im allgemeinen kann man nun unterscheiden:

a) Telephonanlagen im Hause oder in größeren Etablissements, welche nach den Regeln für Haustelegraphen angelegt und oft auch mit diesen vereinigt werden. Hiebei können zwei oder mehrere Stationen vorkommen; die Einrichtungen sind dann verschieden, ob nur von einer Seite gerufen werden soll, oder alle Stationen untereinander verkehren sollen. Im ersteren Falle erhält die Sprechstelle, welche die anderen rufen will, nach der Fig. 456 einen Kurbelschalter *b*, der mit den einzelnen Leitern zu den Stationen verbunden ist.

Im letzteren Falle oder für das Sprechen mehrerer Stationen untereinander werden entweder Klappenschränke (Generalumschalter) oder auch Linienwähler gewählt. Die Linienwähler (siehe Seite 303) gestatten die Verbindung der eigenen Station mit den übrigen Stationen beliebig selbst herzustellen und dabei k einer Centralstelle oder k eines Klappenschrankes zu bedürfen. Diese Anlagen erfordern aber ein compliciertes Leitungsnetz, und ist daher deren Anwendung hiedurch begrenzt. Mit einem Klappenschrank, welcher allerdings als „Centralstation“ fungieren muss, lässt sich auf einfachere und billigere Art derselbe Zweck, d. i. die Verbindung der Linien untereinander, erreichen. Es ist jedoch Sorge zu tragen, dass diese Centralstation jederzeit bedient werden kann.

Die Einrichtung eines Klappenschrankes für Centralstationen (Figuren 457, 458) besteht dem Wesen nach aus den Klappensystemen 1, 2, 3, 4 (Fig. 457) und der Verbindungsvorrichtung. Die Klappensysteme enthalten für jede Leitung Elektromagnete M (Fig. 458), durch deren Anker a eine Fallklappe K_1—K_4 (auch „Annunciator“ genannt) ausgelöst wird. Ferner ist je eine Klinke k_1 k_2 k_3 k_4 mit einem Stöpselloch m_1 m_2 m_3 m_4 vorhanden, welche aus zwei Theilen besteht, die im Ruhezustand mit einander in Verbindung stehen. Die Leitung tritt durch M ein, geht zu k_1, von da zu k und dann zur Erde e, bezw. zu E. Ein in das Stöpselloch m_1 ... eingesteckter Stöpsel mit Metallspitze und Verbindungsschnur trennt k_1 und k und verbindet k_1 mit der Leitungsschnur s (Fig. 457). Eine einfache Schnur mit einem Stöpsel dient zur Einschaltung eines Sprechapparates, eine Schnur mit zwei Stöpsel zur Verbindung zweier Leitungen mit einander. Zwischen den Klemmen ZK (Fig. 458) wird die Batterie, zwischen WW ein Läutewerk eingeschaltet. Fällt infolge Anrufes z. B. die Klappe K_4 auf den Stift w, so wird der Klingelstromkreis der Station geschlossen und der Wecker ertönt.

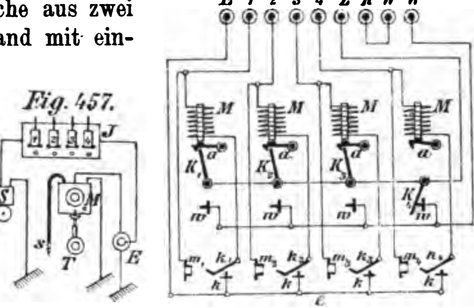


Fig. 457. Fig. 458.

Jeder Klappenschrank enthält nun eine Telephon- oder Mikrophonstation M (Fig. 457) zur Correspondenz mit den Linienstationen. Jeder Apparat ist überdies mit einem Blitzschutz versehen. Die Fig. 457 zeigt die generelle Einrichtung eines solchen Vermittlungsamtes. Die Klappe 1 ist zum Vermittlungsamt, die einzelnen Theilnehmer (A, B, C) sind mit den Klappen 2, 3, 4 verbunden. Die Station M kann mit jeder Leitung, ebenso A, B, C mit 1 durch eine Leitungsschnur mit zwei Stöpseln verbunden werden.

b) Privattelephonanlagen sind Anlagen, welche über die Grenzen eines Hauses hinausgehen und z. B. einzelne Objecte eines Etablissements (Kasernen etc.) mit einander verbinden. Solche Anlagen bedürfen bereits einer staatlichen Concession.

c) Stadtfernsprechanlagen, welche den telephonischen Verkehr zwischen den Abonnenten einer Stadt vermitteln. Bei beiden vorbenannten Anlagen werden die Leitungen, wie beim Telegraphenbau, hergestellt.

Die Einrichtung der Apparate ist analog dem Schema Fig. 457 beschaffen. Die Verbindung der Sprechstellen untereinander geschieht ebenfalls durch Klappenschränke, welche für 50 bis zu 100 Leitungen gebaut, und bei sehr großen Fernsprechämtern dann zu „Vielfachumschalter“ combiniert werden. Bei solchen Vermittlungsämtern rechnet man für je 50 Linien (oder Theilnehmer, Abonnenten) eine Telephon-, oder Mikrophonstation, hier „Abfragestation“ genannt.

d) Der Fernverkehr auf große Entfernungen (Verbindung zweier Stadtsprechanlagen) geschieht entweder unter Benützung bestehender Telegraphenleitungen nach dem System Risselberghe, oder aber mittels besonderer Leitungen (gebräuchliche Anlagen). Hiebei verwendet man bis etwa 60*km* einfache Leitungen, während darüber Doppelleitungen auf separaten Gestängen genommen werden.

e) Endlich kommt der telephonische Verkehr auch im Eisenbahndienste, dann für Feldzwecke immer mehr zur Geltung.

6. Betrieb der Telephon- und Mikrophonanlagen. Störungen.

Bei den einfachen Telephon- und Mikrophonverbindungen erfolgt die Einleitung der Correspondenz durch das Geben der Anrufsignale. Nach dem Einlangen des Retoursignales von der aufgerufenen Station wird das Hörtelephon abgehoben und die Correspondenz durch Draufsprechen auf die Sprechplatte des Telephons oder des Mikrophons eingeleitet. Zweckmäßig ist es, die Sprechapparate in fester Lage anzubringen und nicht zu nahe und nicht zu weit von der Sprechplatte zu sprechen. Vortheilhaft ist es ferner, articuliert und langsam zu sprechen. Eine Ausnahme von der festen Anbringung der Apparate machen die Telephone, welche gleichzeitig zum Hören und Sprechen verwendet werden, desgleichen alle transportablen Stationen.

Sind mehrere Stationen mit einander in einer Linie verbunden, so muss eine entsprechende Signalisierung vereinbart werden.

In Centralstationen wird der Betrieb und die Herstellung der Verbindungen der Linien untereinander complicierter.

Will z. B. die Station *A* mit *B* sprechen, so gibt *A* nach der Centralstation ein Signal. In der Centralstation fällt die Fallklappe des betreffenden Annunciators, was für die Centralstation das Zeichen ist, dass die Station *A* mit ihr sprechen will. Nach Einschaltung des Central-Sprechapparates gibt die Centralstation das Rücksignal und frägt die Station *A*, welche sodann die Verbindung mit Station *B* verlangt. In den meisten Fällen wird nun die Centralstation die Station *B* anrufen und nach Einlangen des Rücksignales von *B*, was in der Centralstation durch das Fallen der Fallklappe von der Linie der Station *B* geschehen wird, die Verbindung mittels eines Stöpsels oder Stöpselpaares zwischen *A* und *B* herstellen. Seltener stellt die Centralstation diese Verbindung nach dem Gespräch mit *A* sofort mit *B* her und ruft die Station *A* sodann die Station *B* selbst auf.

Nach Schluss jeder Correspondenz muss ein bestimmtes Schlussignal gegeben werden, wodurch die Centralstation aufmerksam gemacht wird, die Verbindung zu trennen. Sind mehrere Vermittlungsämter oder Centralstationen untereinander verbunden, so geht der Vorgang zwischen denselben zur Herstellung



der Verbindung einer Station dieser Centralstation mit einer solchen der anderen Centralstation in ähnlicher Weise vor sich.

Hinsichtlich der Behandlungsweise und Conservierung der Stationen ist noch zu bemerken, dass dem guten Zustande der Elemente (ob für Signalgabe oder als Mikrophonbatterie) der Contacte, Sprechplatten, der Reguliervorrichtung, endlich der Leitungen stets eine besondere Beachtung geschenkt werden soll.

Die Störungen, welche bei Fernsprechapparaten eintreten können, äußern sich gewöhnlich darin, dass entweder das Läutewerk oder die Sprechapparate, oder aber beide zusammen nicht functionieren, oder nur schlecht ansprechen. Die Ursachen dieser Störungen sind so mannigfache, dass dieselben hier nur allgemein angeführt werden können. Die Störungen können, abgesehen von den Klingelwerken, liegen:

a) beim Telephon im schlechten Magnetismus des Magneten, unrichtiger Einstellung der Sprechplatte, Leitungsfehlern in der Wicklung der Inductionsspule und in der Zuleitung, endlich in schlechten Contacten;

b) beim Mikrophon, α) im primären Stromkreis: in schlechten Elementen, in Fehlern in der Mikrophonconstruction und im Inductorium, in schlechter Einstellung der Reguliervorrichtung und in Contactfehlern; β) im secundären Stromkreis: in Fehlern im Inductorium, in Contact- und Leitungsfehlern und in Fehlern in den Hörtelephonen (wie sub *a*). Der Vorgang, wie sich solche Fehler bemerkbar machen, lässt sich wie folgt beschreiben, wobei zwei Stationen *A* und *B* mit Aufruf vorausgesetzt werden.

1. Man bekommt gegenseitig kein Aufrufsignal. Die Ursache kann in Leitungsunterbrechungen liegen. Hört eine Station das Signal gut, die zweite nicht, so kann der Wecker dieser Station verstellt sein. Eventuell ist die Batterie oder der Inductionsapparat der rufenden Station schlecht.

2. Die Signalgebung ist in Ordnung. Man hört auf einem Apparate *A* gut, in der Station *B* nichts oder nur schwer. Dann ist entweder das Mikrophon in Station *A* oder das Hörtelephon in der Station *B* schlecht. Hören beide Stationen nichts, so sind beide Mikrophone oder die Hörtelephone nicht in Ordnung.

Endlich können Fehler in der Verbindungsleitung zwischen *A* und *B* vorkommen.

Als ein weiterer Fehler, welcher bei Fernsprechanlagen vorkommen kann, ist die Einwirkung von Telephonlinien auf einander oder von Telegraphen- auf Telephonlinien. Diese Einwirkung kann entstehen: *a*) durch Stromübergang von einer Leitung in die andere, oder *b*) durch Induction.

ad *a*) Der Stromübergang kann durch unmittelbare Berührung von oberirdischen Leitungen durch die ungenügende gegenseitige Isolierung benachbarter Leitungen, endlich durch die Benützung der Erde als Rückleitung stattfinden. Letztere Einflussnahme kann besonders dann störend werden, wenn benachbarte Licht- und Kraftübertragungsanlagen eine Erdrückleitung besitzen.

ad *b*) Bei der Annäherung elektrischer Leitungen (u. zw. von Telephonlinien einerseits, dann von Telegraphen- zu Telephonlinien anderseits) kann jede der Leitungen auf die andere durch elektromagnetische oder elektrische Induction störend einwirken. Man kann hiedurch in den Apparaten jeder Leitung Correspondenzen oder starke Morse-, bezw. Hughes-Geräusche hören. Man bezeichnet dies als das „Überhören“. Letzteres kann aber auch (ad *a*) durch

Ableitungen von Draht zu Draht (längs der Isolatoren und Stützen), u. zw. bei nassem Wetter, Berühren von Bäumen, feuchten Wänden etc. bewirkt werden.

Um dieses störende Überhören nun zu vermeiden, hat man behufs Herbeiführung von Inductions-Differenzwirkungen bei Anlagen mit Erdrückleitung oder mit Doppelleitungen, verschiedene Mittel (wie z. B. Änderung der Lage der Drähte von Stützpunkt zu Stützpunkt, Einschaltung von Inductionsspulen etc.) in Anwendung gebracht. Bei einfachen Leitungen, welche mit Erdrückleitung versehen sind, kommen noch störende Geräusche durch atmosphärische Elektricität und durch Erdströme hinzu. Das zweckmäßigste Mittel ist in allen Fällen die Anwendung einer metallischen Hin- und Rückleitung (Doppelleitungen), welche man noch stellenweise sich kreuzend anordnet.

Die Untersuchung fehlerhafter Telephon- oder Mikrophonstationen geschieht in der Regel mit Hilfe von Leitungsprüfern, indem man die Stationen, sowie die Leitung für sich untersucht. In den Stationen selbst zerfällt die Prüfung in die Untersuchung des primären und in jene des secundären Stromkreises, welche bei Beachtung des Stromschemas und Ausschluss der Localbatterie in leichter Weise bewerkstelligt werden kann.

7. Gleichzeitiges Telephonieren und Telegraphieren auf einer Linie.

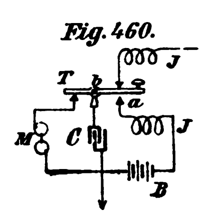
Die Erfahrungen mit den Fernsprechanlagen haben ergeben, dass bei Anwendung zweier Telegraphen- $M\,M_1$, und zweier Telephonstationen $T\,T_1$, wie z. B. in Fig. 459 dargestellt, besonders störende Nebengeräusche beim Telephonieren und Telegraphieren auf einer Linie $a\,b$ nicht eintreten. Diese treten aber wesentlich dann ein, wenn beim Telegraphenbetrieb viele Linien an eine Centrale geschaltet werden. In diesem Falle beeinflusst, wie zuvor gesagt, die Induction die Correspondenz wesentlich ungünstig.

Fig. 459.

Man hat nun getrachtet, diese ungünstigen Inductionswirkungen zu beseitigen, und war es insbesondere Risselberghe, welcher ein nach ihm benanntes System für das gleichzeitige Telegraphieren und Telephonieren auf einen Draht erfunden hat.

Nach dem Risselberghe'schen Systeme (Fig. 460) müssen die Stationen mit einigen Nebenapparaten ausgerüstet werden, welche die störende Wirkung des Telegraphenstromes auf die Telephonapparate M aufheben. Die Wirkung des Telegraphenstromes wird durch Einschaltung von Condensatoren C von 2 *mcfd* Capacität vor den Telephonapparaten aufgehoben. Ferner müssen Elektromagnetrollen J (auch Graduatoren genannt) von je 500 Ω Widerstand zwischen der Batterie B und dem Arbeits- oder Unterbrechungscontact des Morse-Tasters T und in die Leitung L vor dem Drehpunkte b desselben Tasters geschaltet werden, um die Wirkung des Öffnungs-, bezw. Schließungsstromes hemmend zu beeinflussen. Die ganze Anordnung ist sehr compliciert, und wird in vielen Fällen eine getrennte Leitungsführung derselben vorgezogen.

Fig. 460.



Die Telegraphie.

1. Zweck, Systeme, Bestandtheile und Leitung.

Von den zahlreichen Anwendungen der Elektricität ist die elektrische Telegraphie die älteste und für den heutigen Verkehr noch immer von hervorragendster Bedeutung, wenn auch in neuerer Zeit die Telephonie immer mehr an Verbreitung gewinnt.

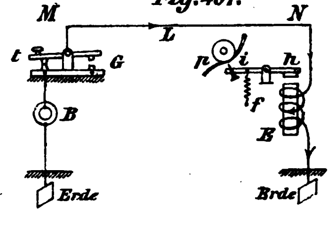
Beide, — Telegraphie und Telephonie, verfolgen den gleichen Zweck, nämlich die Übertragung des Gedankens mit Hilfe der Elektricität auf beliebige Entfernung; die Telegraphie bewirkt dies mit Hilfe vereinbarter Zeichen, ist also ein „Fernschreiber", die Telephonie überträgt direct das gesprochene Wort, ist also ein „Fernsprecher". Die dem elektrischen Strome innewohnende elektrische Energie kann in mechanische, chemische und calorische Energie, endlich in Lichtwirkungen umgesetzt werden. Man könnte sonach jede dieser Umwandlungsformen der elektrischen Energie dazu benützen, um an einem entfernten Orte eine mechanische, chemische etc. Wirkung auszuüben, d. h. diese zu Telegraphenzwecken dienstbar zu machen.

Alle in wirklicher Anwendung stehenden Telegraphensysteme transformieren jedoch elektrische in mechanische Energie, weil diese Umwandlung die einfachste und zugleich am sichersten functionierende ist.

Um zwei Orte mit einander in telegraphische Correspondenz treten zu lassen, müssen diese beiden Orte durch eine metallische Leitung, kurzweg „Linie" genannt, verbunden sein. Jede dieser beiden „Stationen" muss weiters mit Apparaten ausgerüstet sein, welche es ermöglichen, sowohl den Strom nach der anderen Station zu entsenden, als auch den von der anderen Station ausgehenden Strom in mechanische Kraftäußerung umzusetzen. Ersteren Apparat nennt man den „Gebe-", letzteren den „Empfangs-Apparat".

Endlich sind elektrische Generatoren (Batterien, Secundärbatterien etc.) nothwendig, um den erforderlichen elektrischen Strom zu erzeugen.

Die schematische Darstellung einer Telegraphenlinie zeigt Fig. 461. Drückt man in der Station *M* den Tasterhebel *t* (Gebe-Apparat) nieder, so circuliert ein Strom von der Batterie *B* durch die niedergedrückten Contacte in den Tasterhebel *t*, aus diesem durch die Leitung *L* in den Empfangsapparat *E* der Station *N*.



Der Empfangsapparat *E* besteht aus dem Elektromagnet, welchem ein beweglicher, durch eine Spiralfeder in der Ruhelage erhaltener Anker vorliegt. Durch den circulierenden Strom wird der Anker angezogen, u. zw. so lange, als der Tasterhebel in der Station *M* niedergedrückt gehalten wird.

Wird der Taster losgelassen und der Strom hiedurch unterbrochen, so verliert der Eisenkern des Empfangsapparates *E* seinen Magnetismus, worauf infolge Wirkung der Spiralfeder *f* der Hebel *h* in seine frühere Lage zurückkehrt.

Werden die Buchstaben des Alphabetes aus Combinationen von Punkten und Strichen zusammengesetzt (z. B. *a* • ▬, *b* ▬ • • •), und wird der Punkt

durch ein kurz dauerndes, der Strich durch ein länger währendes Niederdrücken des Gebeapparates *G* (Tasters) telegraphiert, so nimmt der Empfänger in *N* am Empfangsapparate *E* diese kürzer oder länger andauerde Anziehung des Hebels *h* wahr und kann die Zeichen, Buchstaben, Worte etc. niederschreiben. (Telegraphen-System nach Morse.)

Dieses Abnehmen der Zeichen vom Apparate kann entweder nach dem Gehöre (Gehörlesen) erfolgen, oder aber, es wird während des Zeichenempfanges ein Papierstreifen *p* an der Spitze *i* des Hebels *h* continuierlich (durch ein Uhrwerk) vorbeigeführt, wodurch bei kurzem Anziehen des Hebels ein Punkt, bei längerem ein Strich auf dem Papiere entsteht (registrierender Empfänger).

Nach der in Fig. 461 dargestellten Anordnung ist das Zeichengeben (Telegraphieren) nur von *M* nach *N* möglich; will man auch umgekehrt correspondieren, so muss sowohl *M*, als auch *N* mit Gebe- und Empfangsapparaten ausgerüstet sein.

Diese Anordnung (Schaltung) ist Seite 303 behandelt.

In der Fig. 461 erscheinen die Stationen *M* und *N* mit nur einer Metallleitung (Kupfer-, Bronze- oder Eisendraht) verbunden.

Die Rückleitung wird durch die in jeder Station angebrachte Erdplatte ersetzt, welche, bis in das feuchte Erdreich verlegt, den Übergang des elektrischen Stromes aus der Leitung in die Erde, und umgekehrt, ermöglicht.

Die Leitung kann als offene, nämlich blanker Draht auf Isolatoren, oder als Kabelleitung geführt werden.

Zu offenen Leitungen würde sich Kupferdraht infolge seines geringen elektrischen Widerstandes am besten eignen. Der hohe Preis und die geringe absolute Festigkeit desselben machen die Wahl eines anderen Materials erforderlich. Als diesen Anforderungen am meisten entsprechend ist der Eisendraht zu bezeichnen. Eisen besitzt jedoch bei gleichen Dimensionen fast den sechsfachen Widerstand des Kupfers.

Besser ist sogenannter Compounddraht, ein galvanisch verkupferter Eisendraht, der nebst Schutz vor atmosphärischen Einflüssen auch eine bessere Leitungsfähigkeit aufweist. Dieselben Eigenschaften besitzt verzinkter Eisendraht.

Hohe absolute Festigkeit mit einer Leitungsfähigkeit, welche bis 95% derjenigen des Kupfers erreicht, besitzt Silicium- und Phosphor-Bronze. Die Preise dieser Materialien beschränken die Anwendung derselben auf wenige, wichtige Leitungen (interurbane Telephonlinien).

Die Widerstände von Drähten lassen sich nach Seite 34 berechnen.

Wird in der Formel für den Widerstand *w*, *l* in Kilometern, *d* in Millimetern eingesetzt, so entsprechen als Widerstands-Coëfficienten:

für Kupfer 15·84,
für Eisen 96·36 [1]).

[1]) Z. B. der gebräuchliche Eisendraht von 5*mm* Dicke hat pro *km* folgenden Widerstand:

$$w = \frac{4\,l}{d^2\,\pi} \times 96{\cdot}36 = \frac{4}{25 . 3{\cdot}14} \times 96{\cdot}36 = 4{\cdot}9\ \Omega \text{ rund } 5\ \Omega,$$

solcher von 4*mm* Dicke hat pro *km*:

$$\frac{4}{16 . 3{\cdot}14} \times 96{\cdot}36 = 7{\cdot}66\ \Omega.$$



Nebst der Forderung des möglichst kleinsten Widerstandes sollen die Leitungen eine hohe Isolation besitzen; dies wird durch Verwendung von Doppelglocken-Isolatoren erreicht.

Kabelleitungen unterliegen denselben Anforderungen wie offene, nur ist hier die Frage der Dauerhaftigkeit des Isoliermaterials von Bedeutung.

Die für specielle Eigenthümlichkeiten der telegraphischen Correspondenz nothwendigen Eigenschaften der Leitungen werden Seite 317 behandelt.

2. Apparate und Betriebsweisen nach dem Morse'schen Systeme.

Die zum Betriebe der telegraphischen Correspondenz in einer Station nothwendigen Apparate werden in Folgendem schematisch dargestellt und deren Function erläutert.

a) Der Taster. Der um die Achse x (Fig. 462) drehbare Metallhebel h liegt normal, durch die Feder f, hiezu veranlasst, auf dem Platincontacte r (Ruhecontact).

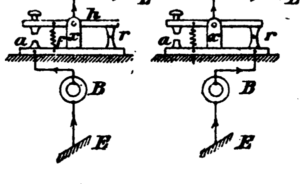


Fig. 462. Fig. 463.

Die Schaltung des Tasters, d. h. dessen Verbindung mit der Linie und der Batterie, kann, je nach der anzuwendenden Betriebsart, auf verschiedene Weise erfolgen.

Bei der, in der Fig. 462 gezeichneten Schaltung bewirkt ein Niederdrücken des Hebels h auf den Contact a (Arbeitscontact) das Circulieren eines Stromes von der Batterie B in die Linie L; es wird daher in die bisher stromlose Linie ein Strom entsendet, der ebenso lange andauert, als der Taster niedergedrückt wird.

Diese Schaltungsart nennt man die „Schaltung auf Arbeitsstrom".

Wird hingegen der Taster nach Fig. 463 geschaltet, so fließt, wie ersichtlich, während der Ruhelage des Tasters ein fortwährender Strom aus der Batterie in die Linie L.

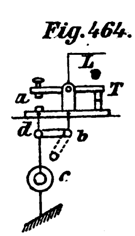


Fig. 464.

Wird nun der Taster niedergedrückt, so wird dieser Strom unterbrochen und bleibt so lange unterbrochen, als der Taster niedergedrückt wird. Kehrt der Taster in die Ruhelage zurück, so wird der Strom abermals geschlossen und circuliert nun weiter. Diese Schaltungsart nennt man die „Schaltung auf Ruhestrom". Eine dritte Schaltungsart endlich ist jene auf „amerikanischen Ruhestrom".

Bei derselben ist neben dem Taster ein um b drehbarer „Sprechwechsel" bd (Fig. 464) angebracht.

Ist derselbe geschlossen, so circuliert ein constanter Strom von der Batterie in die Linie.

Obige Formeln vereinfacht, geben

$$\left.\begin{array}{l}\text{für Eisen } w = \dfrac{122{\cdot}62}{d^2} \\ \text{für Kupfer } w = \dfrac{20{\cdot}2}{d^2}\end{array}\right\} \Omega \text{ pro } km.$$

Wird für $d = 1mm$ gesetzt, so resultiert:

$$\left.\begin{array}{llll}\text{Eisendraht} & \text{von } 1mm & \text{Dicke hat} & 122{\cdot}62 \\ \text{Kupferdraht} & \text{„ } 1mm & \text{„ „} & 20{\cdot}2\end{array}\right\} \Omega \text{ pro } km.$$

Will man correspondieren, so wird der Sprechwechsel geöffnet und hiedurch der Strom unterbrochen. Drückt man nun den Taster nieder, so wird der eben unterbrochene Strom geschlossen und hiedurch die telegraphische Correspondenz vermittelt.

Diese Schaltungsart hat also mit der vorigen insoferne Ähnlichkeit, als bei beiden im Ruhezustande ein continuierlicher Strom die Linie durchfließt. Die Zeichen werden jedoch nicht durch Stromunterbrechung, sondern durch Stromschluss gegeben, zu welchem Zwecke daher der constante Strom zuerst unterbrochen werden muss.

Alle Schaltungsarten, besser ausgedrückt, Betriebsarten lassen sich für die telegraphische Correspondenz benützen, jedoch ist die Schaltung der Apparate und Batterien untereinander naturgemäß eine andere.

b) Das Relais und der Schreibapparat. Der Empfangsapparat für die telegraphische Correspondenz nach dem System Morse wurde bereits in Fig. 461 schematisch dargestellt und auch dort erläutert.

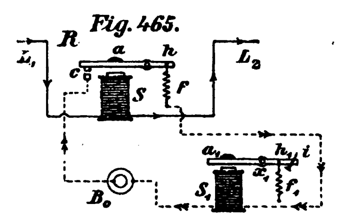
Wie aus dieser Figur ersichtlich, gelangt der Linienstrom in die Spule des Elektromagnets E, welcher den Anker anzieht und dessen anderes Hebelende mit seinem Stifte i die Zeichen auf dem Papiere p fixiert.

In der Praxis tritt jedoch eine Modification ein. Der Linienstrom, der den hohen Widerstand der langen Linienleitung zu überwinden hat und auf diesem Wege auch Verluste durch ungenügende Isolation erleidet, würde im Eisenkerne E nicht jene Stärke des Magnetismus hervorrufen, welche zur deutlichen und lesbaren Fixierung der Zeichen auf dem Papierstreifen erforderlich ist.

Daher construiert man, um diesen Zweck zu erreichen, einen sehr empfindlichen Apparat nach demselben Principe, wie in Fig. 461 dargestellt, lässt jedoch die telegraphischen Zeichen nicht durch diesen direct fixieren, sondern benützt den Hebel (Anker) dieses Apparates als einen Tasterhebel, der mittels des Stromes aus der Ferne in Bewegung gesetzt wird und durch diese Bewegung einen Stromkreis innerhalb der Station schließt und öffnet. Hiedurch erst werden die Zeichen auf einen speciellen „Schreibapparat“ übertragen; der übertragende Apparat selbst heißt „Relais“.

In Fig. 465 wird durch den Linienstrom, welcher die Elektromagnetspule S durchfließt, der Eisenkern magnetisch und zieht den Anker a an. Hiedurch wird folgender Stromkreis geschlossen: von der Batterie (Localbatterie) B_0 zum nunmehr geschlossenen Contacte c des Relais, durch den Hebel h und die Feder f in die Spule S_1 des Schreibapparates und zurück zur Batterie. Der Anker a_1 wird angezogen, der am Hebel h_1 angebrachte Stift i schreibt.

Fig. 465.



Jeder kurz oder lang andauernde Strom, gleichgiltig, ob von der Linie L_1 oder L_2 kommend, bewegt den Relaishebel, welcher den Strom der Localbatterie schließt und den Hebel des Schreibapparates zur Function bringt. Das Relais ist also ein aus der Entfernung bewegter Taster, welcher die Zeichen auf den Schreibapparat überträgt.

Der Strom der Localbatterie, der keinen hohen Leitungswiderstand zu überwinden hat, kann durch Wahl einer entsprechenden Zahl und Gattung von

Elementen genügend kräftig gemacht werden, um die Zeichen am Papiere deutlich lesbar zu machen.

Die in Fig. 465 gezeichnete Anordnung stellt die Übertragung dar, wenn die Zeichen in der Linie durch „Stromschluss“, also nach Fig. 462 hervorgerufen werden (Arbeitsstrombetrieb).

Beim Ruhestrombetriebe (nach Fig. 463) tritt folgende kleine Modification ein (Fig. 466).

Fig. 466.

Der in der Linie fortwährend circulierende Strom hält den Relaishebel constant angezogen. Wird der Strom in der Linie unterbrochen, so schnellt der Relaishebel nach aufwärts und bewirkt nunmehr durch diese Bewegung das Schließen des Localstromkreises.

Es sind also, entsprechend der nunmehr umgekehrten Relaishebelbewegung, die Contacte *c*, welche den Stromschluss der Localbatterie B_0 bewirken, nicht wie bei der Anordnung in Fig. 465 unten, sondern oben angebracht.

Die sonstige Anordnung bleibt wie in der Fig. 465.

Bei der Betriebsweise auf „amerikanischen Ruhestrom“, wobei die Zeichen durch Stromschluss gegeben werden, ist die Anordnung wie beim Arbeitsstrom. Da hiedurch jedoch im Ruhezustande die Localbatterie fortwährend geschlossen wäre, wird, um einer unnöthigen Inanspruchnahme derselben vorzubeugen, der Localstromkreis durch eine passende Vorrichtung (Papierstreifen zwischen die Relaiscontacte, oder ein eigener Localbatteriewechsel) unterbrochen, und erst beim Beginne der Correspondenz, d. h. wenn der Relaishebel durch seine Bewegung dies anzeigt, geschlossen.

c) Hilfs- und Nebenapparate. Taster, Relais, und Schreibapparat genügen zur Einrichtung einer Linie behufs telegraphischer Correspondenz. Der Schreibapparat ist entbehrlich, wenn man die Zeichen am Relais nach dem Gehöre aufnimmt.

Sämmtliche übrigen, in Telegraphenstationen angebrachten Apparate sind „Neben- und Hilfsapparate“, theils zum Schutze der Stationsapparate gegen atmosphärische Elektricität, theils zur Beobachtung der Leitung, ob dieselbe stromlos ist oder nicht, dann zur Ermittlung von Störungen dienend, endlich, um den Strom in anderer Weise als normal circulieren zu lassen. Diese Apparate werden unter 4. behandelt.

3. Schaltung mehrerer Stationen zur telegraphischen Correspondenz.

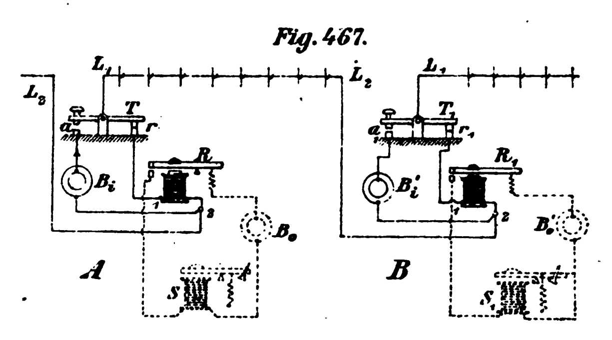
Bisher wurde, um das Princip der telegraphischen Correspondenz zu erklären, eine Station als „gebend“, die andere als „empfangend“ dargestellt.

Es soll nun, der Wirklichkeit entsprechend, die Function mehrerer Stationen, wovon jede sowohl als Geber, als auch als Empfänger zu wirken befähigt sein soll, dargestellt werden.

a) Beim Arbeitsstrom-Betrieb. In der Fig. 467 sind zwei Stationen *A*, *B* einer Linie gezeichnet, deren übrige Stationen in derselben Weise geschaltet sind. Die Stationen am Ende der Linie besitzen ebenfalls dieselbe

Schaltung; nur geht eine der aus der Station auslaufenden Leitungen (z. B. L_2) gleich in die Erde.

Ein principieller Unterschied zwischen End- und Mittelstationen existiert demnach nicht. Um die Wirkungsweise der Stationen zu untersuchen, seien mehrere Fälle betrachtet: 1. Station *A* gibt, Station *B* und alle übrigen empfangen.



Drückt die Station *A* (Fig. 467) den Taster *T* nieder, so strömt vom positiven Pole der Linienbatterie B_i der Strom zum Arbeitscontact *a* des Tasters *T* durch den Hebel zur Achse, von dort in die Linie L_1 und in die Station *B*.

Hier gelangt der Strom zur Klemme 2 des Relais R_1, fließt durch die Spulen des Relais (der Weg von Klemme 2 durch die Batterie ist beim Arbeitscontact a_1 versperrt, da der Taster T_1 nicht niedergedrückt ist), sodann durch den Ruhecontact r_1 zur Achse, in die Leitung L_1 und durchfließt sodann in gleicher Weise noch sämmtliche, übrigen Stationen der Linie, bis er in die Erde gelangt.

In der zeichengebenden Station *A* ist der negative Pol der Linienbatterie B_i an der Relaisklemme 2 in Verbindung mit L_2 gesetzt und damit durch alle in dieser Linie eingeschalteten Stationen auch mit der Erde an der Endstation. Es strömt daher aus der Erde ein Strom durch alle Stationen, gelangt durch L_2 in die Station *A*, hier zur Relaisklemme 2 und sodann direct zum negativen Pol der Linienbatterie. (Der Weg von Relaisklemme 2 durch die Relaisspulen ist beim Ruhecontact *r* offen, da ja die Station *A* den Taster niederdrückt.)

Es wird also beim Niederdrücken des Tasters in der Station *A* der positive Pol der Batterie B_i durch die Leitung L_1, die Station *B* und alle (in der Zeichnung) rechts derselben gelegenen Stationen mit der Erde in Verbindung gebracht, während der negative Pol der Batterie B_i mittels der Relaisklemme 2 und der Leitung L_2, sowie mittels aller links von *A* noch befindlichen Stationen fortwährend mit der Erde in Verbindung ist.

Da eine Batterie, deren beide Pole mit der Erde in Verbindung sind, geschlossen ist, muss im gesammten Stromkreise Strom circulieren. So lange also die Station *A* den Taster niedergedrückt hält, sind die Spulen der Relais sämmtlicher Stationen, mit Ausnahme des Relais der gebenden Station *A* selbst, von einem Strome durchflossen, es sind alle Relaishebel angezogen, und durch die Vermittlung der Contacte am Relais sind alle Localstromkreise geschlossen, daher sämmtliche Schreibapparate das in der Station *A* gegebene Zeichen reproducieren.

Die Spulen des Relais der gebenden Station *A* werden, wie erwähnt, vom Strome nicht durchflossen, da der positive Pol der Linienbatterie B_i durch die Tasterachse direct mit der Linie L_1, der negative Pol hingegen an der

Relaisklemme 2, ebenso mit der Linie L_2 in Verbindung steht, und der Weg durch die Relaisspulen bei niedergedrücktem Taster T am Ruhecontacte unterbrochen ist.

Diese Anordnung ist deshalb getroffen, um einerseits den Widerstand des eigenen Relais für den Strom auszuschalten, hauptsächlich jedoch, um eine Unterbrechung des Spieles seitens einer anderen Station sofort wahrnehmen zu können. Das Relais der Station A ist nämlich mittels der Spiralfeder derart empfindlich eingestellt, dass es auf den schwachen Strom einer fremden Station sofort anspricht. Würde nun das Relais beim eigenen Spiele mitgehen (z. B. bei Einschaltung der Linie L_2 in die Relaisklemme 1), so würde der Relaishebel stark angezogen werden, weil der Strom der eigenen Batterie infolge keinerlei erlittener Stromverluste stärker ist als jener einer fremden Station, und es würde der Relaishebel auch bei nicht niedergedrücktem Taster wegen des stets zurückbleibenden (remanenten) Magnetismus angezogen bleiben, wodurch es nicht möglich wäre, die Unterbrechung des Spieles einer fremden Station wahrzunehmen.

2. Empfängt die Station A, während z. B. B gibt, so ist der Vorgang nach der Fig. 467 analog dem soeben beschriebenen zu verfolgen.

3. Unterbricht endlich z. B. die Station B das Spiel der Station A, d. h. drückt man in B den Taster in rascher Aufeinanderfolge öfters nieder, so geht, in den kurzen Pausen im Tasterspiele von A, wo der Taster in der Ruhelage sich befindet, der Strom durch das Relais der gebenden Station A; das Relais wird daher einigemale angezogen und macht den Beamten auf die Unterbrechung des Spieles aufmerksam.

Aus diesen Darlegungen ist ersichtlich, dass

a) jede Station sowohl geben, als auch empfangen kann.

b) Wenn eine Station spielt, so werden die gegebenen Zeichen von allen Stationen derselben Linie gehört. Will man mit einer bestimmten Station correspondieren, so ruft man diese mit einem vorher vereinbarten Rufzeichen (Anfangsbuchstaben etc.) auf.

c) Das Spiel der gebenden Station kann seitens der empfangenden und jeder anderen Station, wenn nöthig (z. B. bei Missverständnissen oder dringenden Anlässen) sofort unterbrochen werden.

Für die Schaltung einer Arbeitstrom-Station kann man folgende Regeln angeben:

Ist (Fig. 468) 1, 2, A, B, 3, 4 eine Telegraphenlinie mit mehreren Stationen, wovon zwei derselben, A und B, in Fig. 467 im Detail dargestellt sind, und nennt man 1 den Anfangspunkt, 4 den Endpunkt der Telegraphenlinie, so ist ersichtlich:

Fig. 468.

1 2 A B 3 4

α) Die vom Ende der Linie kommende Leitung ist in allen Stationen (siehe L_1 in A und B, Fig. 467) direct in die Tasterachse geführt, geht von dort durch den Ruhecontact des Tasters in die Spulen des Relais, aus diesen direct als Linie L_2 weiter in die nächste gegen den Anfang zu gelegene Station.

β) Die eigene Linienbatterie ist mit dem positiven Pole stets mit dem Arbeitscontact des Tasters, mit dem negativen Pole direct mit der Linie L_2, das ist mit der gegen den Anfang zu führenden Linie in Verbindung.



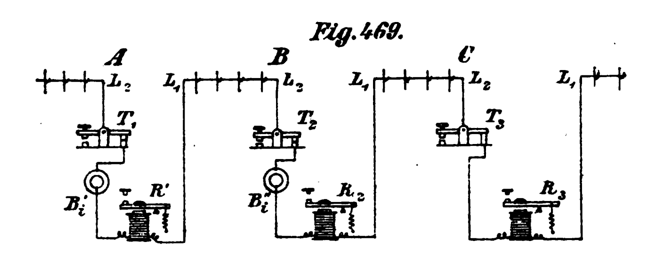
γ) Welche Station den Taster auch niederdrücken mag, der Strom circuliert stets in derselben Richtung, nämlich vom positiven Pole der Batterie der spielenden Station durch den Arbeitscontact und die Achse des Tasters gegen das Ende der Linie, und von der Erde der Anfangsstation zum negativen Pole der Batterie.

δ) Jede Station bedarf einer eigenen Linienbatterie.

Der Schreibapparat ist in bereits erwähnter Weise in den Stromkreis einer Localbatterie eingeschaltet.

b) Beim Ruhestrom-Betrieb. Das Princip des Ruhestromes wurde bereits auf Seite 397 erörtert. Fig. 469 zeigt drei Stationen *A*, *B* und *C* einer Telegraphenlinie, welche mit Ruhestrom betrieben wird.

Fig. 469.



Der Strom der Linienbatterie B_i circuliert vom positiven Pole derselben durch das Relais R_1 in die Linie L_1 und in die Station *B*, in welcher er durch die Achse und den Ruhecontact des Tasters zum negativen Pol der Linienbatterie B_i'' und von deren positivem Pol nach dem Durchfließen des Relais R_2 in die Station *C* gelangt, deren sämmtliche Apparate er in gleicher Weise passiert, sodann die übrigen Stationen durchlauft und endlich in die Erde gelangt.

Der negative Pol der Linienbatterie B_i' steht durch Ruhecontact und Achse des Tasters T_1 mit Linie L_2 und durch alle links liegenden Stationen ebenfalls mit der Erde in Verbindung. Die gesammte Leitung und alle Apparate sind demnach fortwährend von einem Strome durchflossen, daher alle Relaishebel angezogen sind.

Drückt nun irgend eine Station den Taster nieder, so wird dieser Strom unterbrochen, sämmtliche Apparate und die gesammte Leitung werden stromlos, alle Relaishebel werden von den Elektromagneten der Spulen losgelassen und bewirken, wie bereits in Fig. 466 erörtert, den Schluss im Localstromkreise und das entsprechende Zeichen am Schreibapparate.

Das Schema für die Schaltung einer Linie mit Ruhestrombetrieb lässt sich in Worten, wie folgt, ausdrücken:

α) Man führe den Liniendraht von einer Station in die Achse des Tasters, aus dem Ruhecontact in das Relais, aus diesem in die nächste Station.

Bei der Ruhestromleitung bedürfen nicht sämmtliche Stationen einer Linienbatterie, weil der Strom der durch die Leitung als „hintereinander geschaltet“ erscheinenden Batterien alle Stationen in gleicher Weise durchfließt, und eine Station ohne Linienbatterie (*C* in Fig. 469) durch Nieder-

drücken des Tasters den Strom ebenso zu unterbrechen und hiedurch zu correspondieren in der Lage ist, wie jede andere mit Linienbatterie ausgestattete Station.

β) Die vorhandene Linienbatterie wird in jeder Station, gleichgiltig wo, ob vor oder nach dem Relais oder Taster, derart eingeschaltet, dass der positive Pol mit dem Ende der Linie in Verbindung steht.

Die Batterien müssen jedoch in der ganzen Linie „hintereinander geschaltet" werden, d. h. der positive Pol der Linienbatterie in der Station *A* muss mit dem negativen der Batterie von *B*, der positive Pol der Batterie in *B* mit dem negativen jener in *C* verbunden werden.

Wird die letzte Station rechts von *C* (nach Fig. 469) als Endpunkt der Telegraphenlinie angenommen, so ist in allen Stationen der positive Batteriepol mit diesem Ende in Verbindung.

Die in Fig. 469 gezeichneten Stationen auf Ruhestrombetrieb sind jede in der Lage, sowohl geben als auch empfangen zu können. Spielt eine Station, so spielt ihr eigenes Relais mit; eine Unterbrechung des Spieles seitens einer fremden Station gewahrt sie dadurch, dass auf ihrem Relais sowohl ihre eigenen Zeichen, als auch jene der unterbrechenden Station, beide sich gegenseitig verwirrend, erscheinen.

c) Beim Betriebe auf amerikanischen Ruhestrom herrscht im Ruhezustande ein constanter Strom in der Linie. Sämmtliche Batterien (Fig. 470) erscheinen als durch die Leitung hintereinander geschaltet; der positive Pol der Batterien aller Stationen ist mit der gegen das Ende der Linie führenden Leitung verbunden. Die Relais aller Stationen sind angezogen, der Localschluss, um eine unnöthige Inanspruchnahme der Localbatterie hintanzuhalten, unterbrochen. Die Function dieser Anordnung ist folgende:

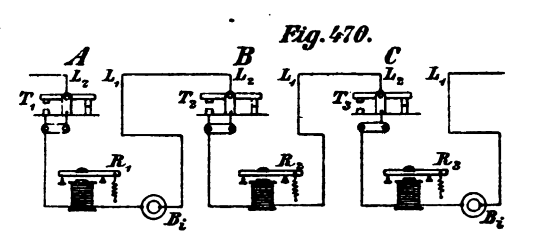


Fig. 470.

1. Will eine Station correspondieren, z. B. *A*, so öffnet sie den Sprechwechsel und unterbricht hiedurch den Strom in der ganzen Linie. Alle Relaishebel werden losgelassen und der Localschluss wird von den Beamten zum Empfange der Correspondenz geschlossen.

Drückt nun Station *A* den Taster nieder, so wird dieselbe Verbindung, welche durch das Öffnen des Sprechwechsels unterbrochen wurde, geschlossen, der Strom circuliert auf die Dauer des Niederdrückens des Tasters, alle Relais- und Schreibapparathebel werden angezogen und reproducieren das Zeichen.

2. Correspondiert *B*, so ist der Vorgang analog, auch wenn, wie in Fig. 470, die Station *B* selbst keine Linienbatterie besitzt.

3. Die Unterbrechung des Spieles äußert sich dadurch, dass die gebende Station nebst ihren eigenen Zeichen auch die fremden auf ihrem Apparate wahrnimmt und hiedurch aufmerksam gemacht wird.

Der amerikanische Ruhestrom ist also eine Modification des Ruhestromes insoferne, als während des Ruhezustandes hier, wie dort, in der Linie ein con-

stanter Strom circuliert. Während aber dort die Correspondenz durch Unterbrechung des Stromes vermittelt wird, wird hier der Strom zuerst unterbrochen und sodann die Correspondenz durch Stromschluss gegeben.

Nach beendigter Correspondenz muss der Sprechwechsel stets wieder geschlossen werden.

Das Schaltungsschema für die Betriebsweise auf amerikanischen Ruhestrom lautet daher:

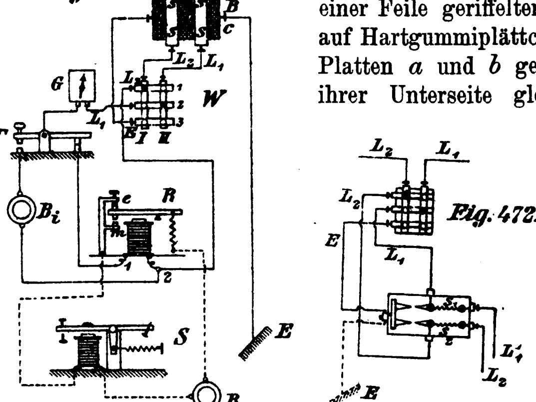
α) Man führe die vom Anfangspunkte der Linie kommende Leitung (L_2) in die Tasterachse, von hier durch den Sprechwechsel und das Relais, sodann in die gegen das Ende der Linie führende Leitung.

β) Die vorhandene Linienbatterie wird, gleichgiltig wo, in die Leitung derart eingeschaltet, dass der positive Pol mit dem Ende der Leitung in Verbindung steht.

4. Neben- und Hilfsapparate.

In den Figuren 467, 469 und 470 sind alle zum telegraphischen Betriebe unbedingt nöthigen Apparate dargestellt.

Zur Completierung der Stationen werden noch folgende Apparate in den Stationen verwendet:



a) Die Blitzschutzvorrichtung. Dieselbe besteht in Fig. 471 aus einer nach Art einer Feile geriffelten Grundplatte *c*, über welche, auf Hartgummiplättchen *s s* aufruhend, zwei obere Platten *a* und *b* gelegt sind, welch letztere auf ihrer Unterseite gleichfalls feilenartig geriffelt sind, so dass die beiden mit zahlreichen Metallspitzen versehenen, sich zugekehrten Flächen in sehr geringem Abstande von einander und ohne sich zu berühren gegenüber stehen.

In die beiden oberen Platten münden die Linien L_1 und L_2 und von denselben gehen die Leitungsdrähte zu den Stationsapparaten. Die Grundplatte ist mit einer Erdleitung verbunden.

Tritt nun in den Leitungen atmosphärische Elektricität auf (z. B. Blitzschlag), so nimmt diese nicht den Weg durch die Apparate der Station, sondern springt als Funke von den Spitzen der oberen in die Grundplatte und gelangt zur Erde, ohne die Apparate zu beschädigen.

Der Zwischenraum zwischen den Platten muss vor Fremdkörpern (Staub, Metallabfälle, Schmelzpartikeln nach Gewittern) sorgfältig rein gehalten werden, da sonst die Linien mit der Erde in Verbindung treten.

In Fig. 472 ist eine Blitzschutzvorrichtung dargestellt, deren Wirksamkeit darin beruht, dass die beiden feinen Spiraldrähte s_1 und s_2 dem Durch-

gange des Linienstromes keinerlei Schwierigkeiten verursachen, jedoch beim Auftreten von stärkeren atmosphärischen Elektricitätsentladungen, welche die Apparate beschädigen könnten, abschmelzen und daher den Stationsapparaten Schutz gewähren. Die atmosphärische Elektricität nimmt ihren Weg über die Metallspitzen zur Erde.

b) Der Linienwechsel besteht aus zwei sich rechtwinklig kreuzenden Lagen von Metall-Lamellen, welche in einer Holzplatte derart eingelagert sind, dass sowohl die beiden Lagen, als auch die einzelnen Lamellen jeder Lage von einander isoliert sind.

An den Kreuzungsstellen sind die Lamellen durchlöchert und es kann durch einen federnden Metallstöpsel jede Lamelle der oberen Lage mit jeder der unteren metallisch verbunden werden.

In der Fig. 471 ist z. B. die in der Zeichnung horizontale Lamelle 1 mit der verticalen I, jene mit 2 bezeichnete mit Lamelle II durch Stöpsel verbunden, während die mit 3 bezeichnete weder mit I, noch mit II verbunden ist.

Nach der Stellung des Linienwechsels in der Fig. 471 ist die Linie L_1 mit der Lamelle II, sodann durch den eingesteckten Stift mit Lamelle 2 verbunden, aus welcher die Linie L_1 durch das Galvanoskop G in die Tasterachse gelangt. Linie L_2 ist durch Lamelle 1 und I mit der Relaisklemme 2 in Verbindung. Die horizontale Lamelle 3 ist durch die Grundplatte der Blitzschutzvorrichtung mit der Erde in Verbindung gebracht, und es kann nun jede der Lamellen I und II mit der Lamelle 3 und folglich jede der beiden Linien L_1 und L_2 mit der Erde verbunden werden.

Fig. 473.

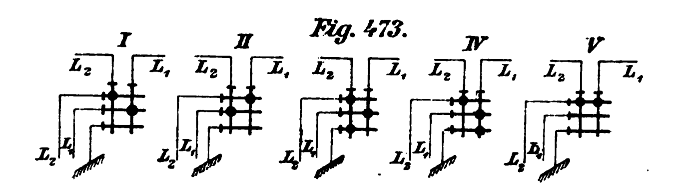


Fig. 473 zeigt die verschiedenen Stellungen des Linienwechsels. Die „normale“ Stellung I ist gleich jener in Fig. 471, bei welcher L_1 mit der Tasterachse, L_2 mit der Relaisklemme 2 verbunden ist, und wo beim Niederdrücken des Tasters der Strom vom positiven Pole der Linienbatterie in die Linie L_1 gelangt.

Die Stellung II zeigt die Umkehrung von der Stellung I; es ist nun L_2 mit der Tasterachse und L_1 mit der Relaisklemme 2 in Verbindung, und der Strom vom positiven Pole der Linienbatterie gelangt jetzt in die Linie L_2.

Diese Stellung ist nur bei der Betriebsweise mit Arbeitsstrom zulässig, da man beim Ruhestrom, falls die Station eine eigene Linienbatterie besitzt, den Strom dieser, allen übrigen in der Linie befindlichen Batterien entgegenschalten, somit den Gesammtstrom schwächen würde.

Die Stellung III zeigt die Linie L_2 im Linienwechsel mit der Erde verbunden. Der Strom der von der Leitung L_2 kommt, gelangt ohne die Stationsapparate zu passieren, in die Erde, der Strom von der Richtung L_1 passiert die Stationsapparate und gelangt sodann in die Erde.

Drückt die Station den Taster nieder, so strömt vom positiven Pol der Linienbatterie ein Strom in die Linie L_1, der negative Pol der Batterie steht im Linienwechsel mit der Erde in Verbindung.

Die Station kann demnach bei dieser Stellung des Linienwechsels nur mit allen in der Linie L_1 befindlichen Stationen correspondieren, mit jenen der Linie L_2 nicht, sie ist gegen L_2, bezw. gegen die in dieser Linie gelegenen Stationen „abgeschlossen“; sie ist eine Endstation geworden. Die Stellung IV zeigt das Abschließen gegen Linie L_1 mit der Correspondenzfähigkeit nach allen Stationen der Linie L_2. Die Stellung V endlich bewirkt die Verbindung beider Linien im Linienwechsel. Der Strom gelangt von Linie L_1 direct in die Linie L_2, ohne die Stationsapparate zu passieren; die Station ist aus der Linie „ausgeschaltet“, ohne die übrigen Stationen in ihrer Correspondenz zu behindern.

Diese Stellung wird angenommen, falls man z. B. an den eigenen Apparaten Reparaturen vornehmen will, oder aber bei Gewittern.

Der Reihenfolge nach sollen die erwähnten Apparate, wie in Fig. 471 gezeichnet, in der Station geschaltet werden, d. h. die von außen kommenden Linien werden zumeist in die Blitzschutzvorrichtung, sodann in den Linienwechsel und nun erst zu den Stationsapparaten geführt.

Nur bei Blitzschutzvorrichtungen mit Abschmelzdrähten, wie in Fig. 472, wird der Linienwechsel vor die Blitzschutzvorrichtung gestellt, um bei thatsächlich eintretendem Abschmelzen der Drähte an dieser keine Unterbrechung der Linie zu verursachen, vorausgesetzt, dass der Linienwechsel die bei Gewittern anzunehmende Stellung V der Fig. 473 hat.

c) Das Galvanoskop. Dieses besteht aus einer Magnetnadel, welche um eine horizontale Achse leicht beweglich in dem Innenraume einer Spule mit zahlreichen Drahtwindungen schwingt. Der die Spule durchfließende Strom lenkt je nach dessen Stärke die Nadel mehr oder weniger ab.

Das Galvanoskop lässt erkennen, ob die Linie stromlos ist oder nicht, und lässt auch nach dem Grade der Ablenkung einen annähernden Schluss auf die Stärke des Stromes zu. Dasselbe ist also ein wichtiges Beobachtungsmittel der Leitung, insbesondere bei eingetretenen Störungen.

Das Galvanoskop wird vor dem Eintritte der Linie L_1 in die Tasterachse geschaltet.

Bei Stationen mit Ruhestrombetrieb ist die Schaltung der Blitzschutzvorrichtung, des Linienwechsels und des Galvanoskops dieselbe, wie die in Fig. 449 für die Station auf Arbeitsstrom dargestellte.

Die Stellung des Linienwechsels II in Fig. 473 kann jedoch nicht angenommen werden, da hiedurch der Strom der Linienbatterie dieser Station demjenigen der übrigen Batterien entgegengesetzt gerichtet wäre, mithin den Gesammtstrom schwächen würde.

5. Vergleich der Betriebsarten, Stromstärke.

Beim Arbeitsstrom muss jede Station eine Linienbatterie besitzen. Diese muss genügend sein, um beim Niederdrücken des Tasters in der gesammten Leitung eine Stromstärke hervorzurufen, welche die Apparate (Relais) zum Ansprechen bringt.

Beim Ruhestrom [1]) kann die zur Erreichung dieser Stromstärke nöthige Anzahl von Elementen entweder in einer Station vereinigt, oder auf mehrere derselben beliebig, oder auf alle Stationen gleichmäßig vertheilt werden.

Aus mehrfachen Gründen, insbesondere aber, um bei eintretenden Störungen die von der Störung nicht mitbetroffenen Stationen correspondenzfähig zu erhalten, wird der letztere Modus gewählt, d. h. die Batterien auf die einzelnen Stationen ziemlich gleichmäßig vertheilt.

Der Arbeitsstrombetrieb bedarf daher einer großen Zahl von Batterien, deren Consum jedoch, selbst bei stärkstem Betriebe, hinter jenem der Ruhestrom-Linienbatterien weit zurückbleibt.

Hinsichtlich der Zahl der für eine Leitung nothwendigen Elemente gelten im allgemeinen folgende Angaben:

Der Widerstand der Linienleitung lässt sich nach Seite 300 in Ohm berechnen.

Das Relais hat je nach der Construction und Empfindlichkeit verschiedene Widerstände.

Für Ruhestromleitungen werden gewöhnlich Relais von 150 bis 250 Ω benützt, da wegen der hier allgemein größer gewählten Stromstärke, die Empfindlichkeit des Relais nicht so groß zu sein braucht.

Für Arbeitsstromrelais besitzen die Relaiswindungen 300 bis 500 Ω, bei langen Leitungen auch bis 900 Ω Widerstand.

Das Galvanoskop besitzt einen Widerstand von etwa 80 bis 120 Ω.

Auf Grund des bekannten Widerstandes der Stationen und der Linienleitung lässt sich nunmehr der Gesammtwiderstand einer Telegraphenlinie angeben. Ferner braucht man, um das Relais zum Ansprechen zu bringen, mindestens eine Stromstärke von 0·002 Ampère (bei sehr fein empfindlichen Relais), für den sicheren, normalen Betrieb jedoch 0·006 bis 0·01 Ampère, durchschnittlich aber 0·008 Ampère.

Hienach lässt sich die nothwendige Anzahl von Elementen berechnen.

Beispiel. α) Eine Arbeitsstromleitung von fünf Stationen, à rund 600 Ω Widerstand mit einer Leitungslänge von 200*km*, à 7 Ω sei gegeben. Der Gesammtwiderstand beträgt daher $3000 + 1400 = 4400$ Ω.

Die erforderliche Stromstärke mit 0·008 Ampère angenommen, ergibt für Meidinger- oder Daniell-Elemente (à 0·9 Volt elektromotorische Kraft)

$$\frac{x \cdot 0{\cdot}9}{4400} = 0{\cdot}008 \text{ Ampère}, \quad 0{\cdot}9\, x = 0{\cdot}008 \times 4400 = 35{\cdot}2 \text{ Volt und}$$

$$x = \frac{35 \cdot 2}{0 \cdot 9} = 39{\cdot}1, \text{ oder rund 40 Elemente.}$$

Für Leclanché-Elemente (à 1·3 Volt) ergibt sich für obige Annahme:

$$\frac{x \cdot 1 \cdot 3}{4400} = 0{\cdot}008 \text{ Ampère, ferner } 1{\cdot}3\, x = 35{\cdot}2 \text{ Volt und } x = 27{\cdot}0 \text{ oder}$$

rund 27 Elemente.

Bei Arbeitsstrombetrieb braucht daher jede Station eine solche Anzahl von Elementen.

---

[1]) Für Ruhestrom und amerikanischen Ruhestrom bleiben die diesbezüglichen Verhältnisse dieselben.

β) Beim Ruhestrombetrieb wird diese Anzahl auf die Stationen vertheilt, gewöhnlich jedoch eine etwas größere Gesammtzahl von Elementen eingeschaltet. Für obiges Beispiel würde jede der fünf Stationen etwa 8 bis 10 Meidinger-, oder 6 bis 7 Leclanché-Elemente erhalten.

Hinsichtlich der Ableitungen ist zu bemerken, dass Ruhestromlinien viel empfindlicher gegen Ableitungen sind und deren Correspondenzfähigkeit durch derlei Störungen leichter in Frage gestellt wird, als dies bei Arbeitsstromlinien der Fall ist.

Sind *A C* zwei Stationen einer Telegraphenlinie, welche bei *P* (Fig. 474) eine Erdableitung aufweisen, so tritt beim Arbeitsstrome an der Stelle *P* eine Stromtheilung ein, und wenn die Ableitung keine totale ist, so kann die empfangende Station durch entsprechend feineres Stellen des Relais, dieses für den ankommenden Theilstrom empfänglich machen und die Correspondenz aufrechterhalten.

Fig. 474.

Anders ist es beim Ruhestrome; drückt die Station *A* den Taster nieder und unterbricht hiedurch den Strom, so wird derselbe in der Station *C* nicht unterbrochen, da die Batterie in *C* trotzdem mit beiden Polen in Verbindung mit der Erde steht (nach links durch die Ableitung *P*, nach rechts durch die weitere Leitung).

Es tritt durch das Zeichengeben in *A* eine je nach dem Grade der Ableitung verschieden große Stromschwächung in *C* ein, welche den Empfangsapparat entweder gar nicht oder wenigstens nicht verlässlich zum Ansprechen bringt.

Unter der Annahme bestimmter Widerstände der Leitungstheile *A P* und *P C*, sowie des Widerstandes von *P* selbst, lassen sich die Gesammt-Widerstände und die herrschende Stromstärke in folgenden Fällen berechnen:

1. die Ableitung besteht nicht, die Linie ist normal (fehlerlose Leitung),
2. die Ableitung besteht, keine Station drückt den Taster nieder,
3. wie 2) jedoch bei niedergedrücktem Taster der Station *A* (fehlerhafte Leitung).

Mit Berücksichtigung der diesen jeweiligen Stromstärken entsprechenden Magnetisierung der Relaiskerne lässt sich sodann ersehen, dass die Function des Relais keineswegs stets eine verlässliche ist [1]).

---

[1]) Beispiel. Es sei eine Linie mit Erdrückleitung gegeben (Fig. 474 *a*), welche zwischen den zwei Stationen *A* und *C* einen Widerstand von 100 Ω besitzt, ferner hätte in *A* die Batterie *B* 50 Volt elektromotorische Kraft bei 10 Ω innerem Widerstand, und in *C* wäre ein Apparat eingeschaltet, der 200 Ω Widerstand besitzt.

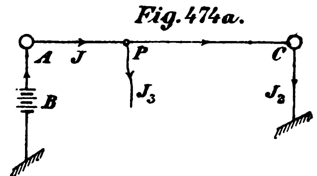


Fig. 474a.

Wenn nun bei *P* eine Ableitung eingetreten wäre, welche einem Widerstande von 20 Ω entspricht, wie groß ist dann der Strom *J* in der fehlerlosen Linie, der Strom J_1 bei fehlerhafter Leitung, und welcher Strom J_2 fließt durch den in *C* eingeschalteten Apparat?

Der Widerstand der fehlerlosen Leitung ist $100 + 10 + 200 = 310\ \Omega$; mithin ist $J = \frac{50}{310} = 0{\cdot}16$ Ampère.

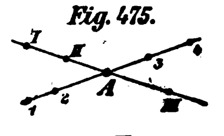
Bei der fehlerhaften Leitung ist z. B. der Widerstand vor *P*: $(40 + 10 =) 50\ \Omega$. Der hinter *P* liegende Widerstand ist jetzt, da eine Stromtheilung vorhanden ist,

6. Translationen und anderwärtige Betriebsarten.

A. Translationen. In einigen Fällen ist es nothwendig, die von einer Linie einlangende Correspondenz auf eine zweite weiter zu befördern. Dies kann dadurch geschehen, dass entweder der Beamte das Telegramm auf seinem Apparate aufnimmt und sodann neuerdings abtelegraphiert, oder automatisch, indem der einlangende Linienstrom einen Taster in Bewegung setzt, welcher die Zeichen in die zweite Leitung entsendet. Die automatische Weiterbeförderung, „Translation" genannt, hat den Vortheil, dass hiedurch weniger Irrungen vorkommen können. Man kann Translationen sowohl für Arbeits-, als auch für Ruhestrombetrieb anwenden. Letztere sind jedoch compliciert und nicht gebräuchlich.

Es sei in der Station *A* (Fig. 475), in welcher die Leitungen 1—4 und I—III einmünden, eine Translation einzurichten, so dass jedes Zeichen, welches von den Stationen 1—4 etc. gegeben wird, selbstthätig in *A* auf die Stationen I—III etc. und umgekehrt, übertragen wird. Die Einrichtung der Station *A* in diesem Falle zeigt die Fig. 476. Nachdem zwei selbständige Linien in die Station einlaufen, so besteht *A* eigentlich aus zwei completen Stationen auf Arbeitsstrom, hat daher zwei Taster T und T_1 und zwei Relais R und R_1.

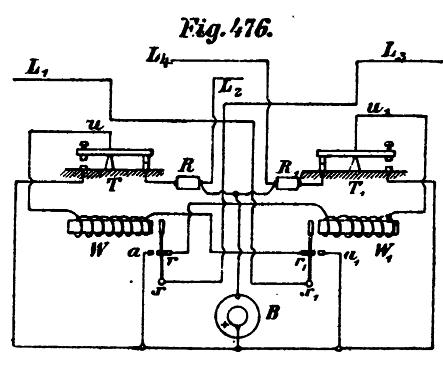
Fig. 475.



Die Schaltung dieser zwei Stationen ist dieselbe, wie sie in Fig. 465 als normal für den Arbeitsstrom dargestellt worden ist.

Nebst den zwei completen Stationseinrichtungen besitzt die Station *A* noch zwei Translatoren W und W_1, welche aus einem Relais mit zwei Contacten bestehen. Vor den Elektromagneten der Translatoren W und W_1 liegen die Anker normal auf den Ruhecontacten r und r_1 auf. Werden die Spulen der Elektromagnete von einem Strome durchflossen, so legen sich die Anker auf die Contacte a und a_1 (Arbeitscontacte).

Fig. 476.



Der Anker repräsentiert demnach einen durch den Strom in Bewegung gesetzten Taster, bei welchem r der Ruhe-, a der Arbeitscontact, x die Achse desselben ist.

$\frac{20\,(60 + 200)}{20 + 260} = 18{\cdot}5\,\Omega$; sonach ist der Gesammtwiderstand $50 + 18{\cdot}5 = 68{\cdot}5\,\Omega$ und sonach $J_1 = J_2 + J_3 = \frac{50}{69{\cdot}5} = 0{\cdot}73$ Ampère.

Da im verzweigten Leiterkreise sich die Stromstärken wie umgekehrt die Widerstände verhalten, ist $J_2 : J_3 = 260 : 20$.

Aus dieser Proportion und aus der Gleichung $J_2 + J_3 = 0{\cdot}73$ folgt $J_2 = 0{\cdot}052$ Ampère, $J_3 = 0{\cdot}68$ Ampère.

Man sieht, dass sich bei der fehlerhaften Leitung der Nutzstrom J_2 gegenüber jenem bei intacter Leitung (0·73) wesentlich verringert hat.

Die Schaltung dieses Tasters ist genau jene, wie sie in Fig. 465 für den Arbeitsstrom dargestellt wurde.

Die Wirkungsweise und Schaltung der Translationsstation (Fig. 476) ist folgende:

Die Linie L_1 (sonst bei der Arbeitsstromschaltung in die Tasterachse führend) ist unmittelbar vor der Tasterachse des Tasters T (bei u) unterbrochen und wird der Strom von hier in die Achse x_1 des Translators W_1 geführt, aus dessen Ruhecontacte r_1 er in die Spule des Translators W gelangt. Aus dieser Spule gelangt der Strom erst in die Achse des Tasters T, sodann, der Arbeitsstromschaltung gemäß, in den Ruhecontact, weiters in das Relais R und in die Linie L_2.

Ebenso wie Linie L_1 ist auch Linie L_3 bei u_1 unmittelbar vor der Tasterachse von T_1 unterbrochen; der Strom führt in die Achse x und zum Ruhecontact r von W, sodann in die Spule von W_1, aus welcher er in die Achse und zu dem Ruhecontact von T_1, dann in das Relais R_1 und in die Linie L_4 gelangt.

Die Linien-, zugleich Translationsbatterie B ist der Arbeitsstromschaltung entsprechend, u. zw. mit dem positiven Pole mit den Arbeitscontacten der Taster T und T_1, sowie mit den Arbeitscontacten a und a_1 der Translatoren W und W_1 in Verbindung gesetzt, während der negative Pol mit der Linie L_2 und L_4 an den Relaisklemmen von R und R_1 in Verbindung steht.

Wird nun auf der Linie L_1 L_2 gespielt, so gelangt der Strom von L_1 in die Achse x_1 zum Ruhecontact r_1, sodann in die Spule des Translators W, dessen Anker er in Bewegung setzt, und nimmt hierauf seinen Weg durch die Achse und den Ruhecontact des Tasters T, sowie durch das Relais R in die Linie L_2.

Beim jedesmaligen Anlegen des Ankers des Translators W an den Arbeitscontact a, entsendet die Batterie B einen Strom vom positiven Pole durch den Arbeitscontact a und durch die Achse x in die Linie L_3, während der negative Pol mit der Linie L_4 an der Klemme des Relais R_1 in Verbindung steht.

Es werden also die von irgend einer Station der Linie L_1 L_2 gegebenen Zeichen selbstthätig auf alle Stationen der Linie L_3 L_4 übertragen.

Spielt eine Station der Linie L_3 L_4, so ist der Vorgang analog, wie zuvor geschildert, und ist nach Fig. 476 leicht zu verfolgen. Die Zeichen werden auf die Linie L_1 L_2 übertragen.

Die Translation kann benützt werden, um bei sehr langen Leitungen, für welche die Batterien einer Station zu schwach wären, die Strecke in zwei Theile zu theilen und sodann die Telegramme der einen Strecke auf die zweite durch eine neue Batterie zu geben. Hiebei vereinfacht sich die Schaltung insoferne als an Stelle der Linien L_2 und L_4 eine Erdleitung tritt, ferners der negative Pol der Batterie gleichfalls mit der Erde verbunden wird.

B. Polarisierte Relais. Um die Elektromagnete der Relais schnell auf die sie durchlaufenden Ströme ansprechen zu lassen, wendet man sogenannte „polarisierte Relais“ an.

Diese bestehen im Principe aus zwei permanenten Magneten, auf deren Polschuhen E E_1 (Fig. 477) die beiden Relaisspulen aufgeschoben sind.

Die Pole E E_1 sind gleichnamig.

Zwischen den Polen $E\,E_1$ schwingt um die Achse x ein Anker aus weichem Eisen, welcher sonach von beiden Polen angezogen wird. Durch die beiden Schrauben p und p_1 kann die Entfernung des Ankers von den beiden Polen reguliert werden.

Fig. 477.

Der die Spulen durchlaufende Strom ist infolge der Wicklung der Spule derart gerichtet, dass der Magnetismus des einen Kernes verstärkt, jener des anderen geschwächt wird.

In der labilen Gleichgewichtslage wird der Anker, welcher gleichweit von beiden Polen absteht, nach beiden Seiten gleich stark angezogen.

Wird durch die Schrauben p und p_1 dem Anker die in Fig. 477 dargestellte Lage ertheilt, so ruht der Anker normal auf der Schraube p auf.

Durchfließt ein Strom die Spulen, so wird der Magnetismus von E geschwächt, jener von E_1 verstärkt und der Anker legt sich auf die Schraube p_1.

Durch entsprechende Regulierung der Schrauben p und p_1, u. zw. derart, dass der Anker normal stets auf einem der Contacte aufruht, jedoch dessen Lage sehr wenig von der labilen Gleichgewichtslage abweicht, ist es zu erzielen möglich, dass der Anker schon auf äußerst schwache Ströme anspricht. Die Entfernung der Schrauben (Contactpunkte) soll hiebei möglichst gering sein, damit der Anker die geringste Zeit braucht, um von einem Contacte zum andern zu gelangen, wodurch die Zeichen am Schreibapparate fast genau, wie sie gegeben wurden und nicht verkürzt reproduciert werden.

c) Anderweitige Betriebsarten. Nebst den vorangeführten Betriebsarten stehen noch hie und da andere in Anwendung. Diese sind *a*) der Differenzstrom und *b*) der Gegenstrom.

a) Der Differenzstrom. Das Princip desselben ist folgendes: Der Taster T (Fig. 478) ist auf gewöhnlichen Ruhestrom geschaltet, und es circuliert der Strom vom positiven Pole der Batterie B durch den Ruhecontact, die Achse des Tasters in die nächste Station. Zwischen Achse und Ruhecontact des Tasters ist ein aus Neusilberdraht gefertigter Widerstand R angebracht.

Fig. 478.

Wird der Taster niedergedrückt, so wird der Stromkreis nicht unterbrochen, sondern es fließt der Strom durch den Widerstand R. Der Strom wird jetzt, der Größe des Widerstandes R entsprechend, geschwächt.

Die Relais beider Stationen müssen nun derart gestellt sein, dass diese eintretende Schwächung genügt, um dieselben zum Ansprechen zu bringen [1]).

---

[1]) Die Größe des Widerstandes R muss zum gesammten Leitungs- und Apparatwiderstande in einem derartigen Verhältnisse stehen, dass eine genügende Schwächung des Stromes eintritt, falls der Taster niedergedrückt wird.

Besteht z. B. die Linie aus zwei Stationen und ist der Widerstand beider Stationen zusammen 700 Ω, der Leitungs- und Erdleitungswiderstand der gesammten Linie 200 Ω, so ist der Gesammtwiderstand des Stromkreises 900 Ω. Der Widerstand R müsste in diesem Falle etwa 450 Ω betragen, um den Strom namhaft zu schwächen. Man hat dann im Ruhezustande 900, bei niedergedrücktem Taster 1.350 Ω Widerstand in der Leitung. Die herrschenden Stromstärken verhalten sich dann in beiden Fällen wie $\frac{1}{900} : \frac{1}{1350} = \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$.

Beim Differenzstrom können vortheilhafterweise nur zwei Stationen in eine mit dieser Betriebsart correspondierende Linie eingeschaltet werden, da mit dem Wachsen der Stationszahl und hiemit mit dem Wachsen des Widerstandes selbstverständlich auch der Widerstand R im Differenztaster wachsen müsste, um eine percentuell genügende Stromschwächung zu erreichen [1]).

Die Betriebsweise mittels Differenzstrom durch eintretende Stromschwächung (beim Niederdrücken des Tasters) gestattet nun folgende Anordnungen:

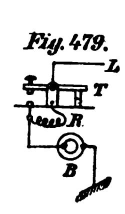
Werden in die Differenzstromlinie nebst den zur Correspondenz benützten Apparaten auch andere, z. B. Signalapparate eingeschaltet, welche jedoch derart reguliert sind, dass sie nur auf vollständige Unterbrechung des Stromes, nicht aber auf die bei der Correspondenz eintretende Stromschwächung ansprechen, so kann man auf der so eingerichteten Linie nicht nur correspondieren, sondern auch mittels eines an beliebiger Stelle angebrachten Tasters, welcher den Strom gänzlich unterbricht, Signale geben.

Diese Anordnung findet bei den Eisenbahnen Anwendung, indem die sogenannte „Glockenlinie", in welcher die Glockenschlagwerke der Wächterhäuser eingeschaltet sind, gleichzeitig zur Correspondenz mittels Differenzstrom eingerichtet ist.

Spielt man am „Differenztaster", so sprechen nur die Relais, nicht aber die Glockenschlagwerke an; drückt man den „Unterbrechungstaster" nieder, so sprechen sowohl Relais, als auch alle eingeschalteten Glockenschlagwerke an, und alle Wächterhäuser, sowie beide Stationen reproduciren das Signal.

Wird in jedem Wächterhaus ein Unterbrechungs- und ein Differenztaster angebracht, so kann von jedem Wächterhaus auf der Strecke sowohl correspondiert, als auch signalisiert werden.

Fig. 479.



Eine zweite Anordnung des Differenzstromes besteht darin, dass durch das Niederdrücken des Tasters T (Fig. 479) der Strom verstärkt wird. Nach der Figur circuliert im Ruhestande der Strom durch den Widerstand R; beim Niederdrücken des Tasters führt der Strom jedoch direct von dem Arbeitscontact in die Achse des Tasters und von da in die Leitung. Es wird also durch das Niederdrücken des Tasters der Gesammtwiderstand um die Größe R verringert, der Strom daher verstärkt.

Die Relaishebel, welche im Ruhezustande nicht angezogen sind, müssen durch eine Spannfeder derart reguliert sein, dass sie auf den nun verstärkten Strom ansprechen und angezogen werden.

Die Stromschwächung bezw. Verstärkung beim Betriebe mit Differenzstrom kann auch noch dadurch erreicht werden, dass man die im Ruhezustande

---

[1]) Bei fünf Stationen à 350 Ω Widerstand und einem Gesammtleitungswiderstand von 500 Ω, beträgt der Gesammtwiderstand des Stromkreises 1.750 + 500 = 2.250 Ω. Um jetzt beim Niederdrücken des Tasters das frühere Verhältnis der Stromstärken $\left(\frac{1}{2} : \frac{1}{3}\right)$ zu erreichen, müsste der Widerstand $R = 1.125\ \Omega$ betragen.

Trotzdem würde man jedoch nicht den gleichen Effect erzielen, wie bei dem zuvor mit zwei Stationen angeführten Beispiel. Denn, wenngleich der Strom in beiden Fällen percentuell gleich geschwächt wird, so ist die Wirkung auf die Eisenkerne der Relaisspulen nicht die gleiche, da, wie die Magnetisierungscurve Seite 74 zeigt, der Magnetismus mit der zunehmenden Stromstärke anfangs langsamer, dann rascher, dann abermals langsamer wächst.

in der Leitung constant wirkende, elektromotorische Kraft durch „Entgegenschalten“ bezw. „Zuschalten“ von Batterien schwächt, bezw. vermehrt.

Diese Anordnungen sind in den Figuren 480 und 481 dargestellt. Bei der ersteren Anordnung in Fig. 480 wirkt im Ruhezustande die Batterie B_5 (mit fünf Elementen), da die Batterie B_{10} am Arbeitscontact isoliert ist. Drückt man den Taster T nieder, so wirken in der Leitung L die Batterie B_5 und B_{10} hintereinander geschaltet mit zusammen 15 Elementen.

Fig. 480. Fig. 481.

Bei der zweiten Anordnung zeigt die Fig. 481 eine Stromschwächung. Im Ruhezustande sind die beiden Batterien B_5 und B_{10} mit 15 Elementen hintereinander geschaltet. Drückt man den Taster T nieder, so ist B_{10} kurz geschlossen, B_5 wirkt mit fünf Elementen in der Leitung.

In der Praxis ist nur der Differenzstrom mit Stromschwächung, u. zw. durch Hinzuschalten eines Widerstandes beim Niederdrücken des Tasters üblich. Die übrigen Anordnungen sind nicht angewendet, wohl aber die folgende Betriebsart auf „Gegenstrom“.

b) Wie aus der Fig. 482 ersichtlich, sind die zwei möglichst gleich starken Batterien B und B_1 der Stationen A und C gegeneinander geschaltet, infolge dessen in der Linie L kein Strom herrscht.

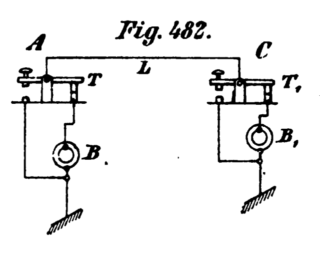


Fig. 482.

Drückt die Station A den Taster T nieder, so wird ihre Batterie B eliminiert, indem nun ihr positiver Pol am Ruhecontacte isoliert ist; die Linie L wird am Arbeitscontact an die Erde gelegt, und die Batterie B_1 der Station C entsendet einen Strom in die gesammte Leitung.

Diese Anordnung hat gegenüber dem Ruhestrome und Differenzstrome den Vortheil, dass der Batterieconsum im Ruhezustande minimal ist; überdies gestattet dieselbe ebenso wie beim Ruhe- und amerikanischen Ruhestrome das Telegraphieren von jedem Punkte der offenen Linie mit bloßer Zuhilfenahme eines Tasters, während beim Arbeitsstrome eine Batterie hiezu nothwendig ist.

Es ist jedoch beim Gegenstrome schwierig, die Batterien gleich stark zu erhalten; außerdem ist der Gegenstrom sehr empfindlich gegen Ableitungen, indem dann beide Batterien den Strom durch die Ableitung in die Erde entsenden und hiedurch, u. zw. aus denselben Gründen, wie beim gewöhnlichen Ruhestrom angegeben, die gegebenen Zeichen der einen Station nicht verlässlich in der anderen reproduciert werden.

7. Die wichtigsten Telegraphensysteme.

Nebst dem im vorstehenden im Detail dargestellten und am meisten angewendeten Morse'schen Telegraphensysteme stehen an einzelnen Telegraphenlinien noch andere Systeme in Anwendung, deren Eintheilung und Princip kurz besprochen werden soll.

A. Der chemische Telegraph. Beim gewöhnlichen Morse-Telegraphen kann die Einrichtung getroffen werden, dass die den Punkten

und Strichen entsprechenden Stromemissionen keine mechanische, sondern eine chemische Wirkung hervorbringen. Dies geschieht dadurch, dass der Papierstreifen vorher chemisch präpariert wird und, durch ein Uhrwerk getrieben, feucht über eine mit der Erde verbundene Metallwalze läuft. Die Linie steht in Verbindung mit einem auf dem Papierstreifen laufenden Metallstifte. Der vom Stifte durch das feuchte Papier zur Walze circulierende Strom zersetzt das chemische Präparat, wodurch Punkte und Striche am Papiere sichtbar werden. Wird das Papier mit einer Lösung von rothem Blutlaugensalz getränkt, so erzeugt ein Eisenstift blaue und deutlich sichtbare Zeichen. (Berlinerblau.) Die Vortheile dieses Systems sind: Einfachheit und Unabhängigkeit von zu regulierenden Apparaten. Die Nachtheile sind: Unverlässlichkeit und die Unmöglichkeit, mehr als zwei Stationen in derselben Leitung einzuschalten, da der Widerstand des schwer gleichmäßig feucht zu erhaltenden Papierstreifens ein sehr hoher ist.

B. Copier-Telegraph. Der Copier-Telegraph soll nicht nur einzelne Zeichen, sondern auch Originalniederschriften und Zeichnungen telegraphisch befördern. Soll z. B. von *A* nach *B* telegraphiert werden, so wird in *A* eine Schrift oder Zeichnung mit elektrisch nicht leitender Tinte auf einer Stanniolfläche fixiert. In der Station *B* wird ein Papier mit rothem Blutlaugensalz getränkt.

In beiden Stationen laufen über diese beiden, gleich großen Flächen durch Uhrwerke angetriebene Metallstifte, u. zw. derart, dass die Stifte gleiche Bewegungen in gleicher Zeit machen, d. h. dass in jedem Momente die Stifte dieselbe Lage auf beiden Flächen einnehmen. Läuft nun der Stift auf dem Stanniolblatte derart hin und her, dass derselbe ein System von sehr eng nebeneinander liegenden Linien beschreibt, so wird, so lange der Stift am Stanniol läuft, Strom in die Leitung entsendet; passiert aber der Stift eine Linie der Zeichnung, so wird der Strom einen Moment unterbrochen. In der Station *B* wird nun durch ein fein gestelltes Ruhestromrelais, beim jedesmaligen Unterbrechen des Stromes in der Linie, der Strom einer Localbatterie geschlossen und dieser bringt, indem er den Stift und das präparierte Papier passiert, einen Punkt am Papiere hervor. Es erscheint also die Zeichnung oder die Schrift in der Station *B* als eine Folge von eng aneinander liegenden Punkten.

Ist die Bewegung beider Stifte vollkommen synchron, so wird auch die Zeichnung oder die Schrift dem Originale congruent wiedergegeben.

Der Vortheil dieses Systems ist die Möglichkeit der Wiedergabe von Handschriften und Zeichnungen; der Nachtheil: die Langsamkeit und Unverlässlichkeit, mit welcher diese Apparate arbeiten. Insbesondere sind die Apparate, welche den vollkommenen Synchronismus des Laufes beider Stifte bewirken sollen, sehr compliciert.

Dieses System ist daher ebenfalls nur theoretisch von Interesse.

C. Mehrfach-Telegraphensysteme. Bei den bisher beschriebenen Systemen kann eine Station nur ein Telegramm zu derselben Zeit befördern. Um die Leistungsfähigkeit der Stationen zu erhöhen, muss man dieselben durch mehrere Drähte mit gesonderten Apparaten verbinden, oder aber man muss trachten, das Missverhältnis zwischen der Leistungsfähigkeit der Liniendrähte

und der Apparate dadurch zu beheben, dass man rascher arbeitende Telegraphensysteme einführt.

Beim Morse'schen Systeme kann der gebende Beamte etwa durchschnittlich 15 Worte à 5 Buchstaben pro Minute geben.

Diese Leistungsfähigkeit ist aber nur ein Bruchtheil derjenigen, zu welcher ein Telegraphendraht überhaupt geeignet erscheint.

Man muss somit rascher arbeitende Apparate oder auch ein derartiges System anwenden, dass gleichzeitig zwei- oder mehrere Telegramme in gleicher oder auch in entgegengesetzter Richtung befördert werden können. Hienach theilen sich die Telegraphensysteme in solche:

a) mit rascher arbeitenden Apparaten;

b) welche die Beförderung von zwei Telegrammen gleichzeitig in derselben Richtung gestatten, „Diplex" genannt;

c) welche die gleichzeitige Beförderung von zwei Telegrammen in entgegengesetzter Richtung gestatten, „Duplex" genannt;

d) welche die gleichzeitige Beförderung von zwei Telegrammen in der einen und von zwei in der anderen Richtung gestatten, „Quadruplex" genannt;

e) welche die gleichzeitige Beförderung von mehreren, wie immer gerichteten Telegrammen gestatten, „Multiplex" genannt.

Die Systeme ad *a*) sind von dem Morse'schen Systeme abweichende, jene ad *b*) bis *c*) können für das Morse'sche System sowohl, als auch für die unter *a*) inbegriffenen Systeme angewendet werden, wodurch eine noch höhere Leistungsfähigkeit erreicht wird.

ad *a*) Systeme mit rascher arbeitenden Apparaten.

α) System Hughes. In der gebenden Station sowohl, als auch in der nehmenden befinden sich vollkommen synchron laufende, durch Gewichte betriebene Uhrwerke. Jedes Uhrwerk setzt ein Stahlrad (Typenrad) in Bewegung, auf dessen Umfange die Buchstaben des Alphabets in erhabener Schrift eingraviert sind. Sind nun die Bewegungen der Uhrwerke in beiden Stationen vollkommen synchron, so müssen bei beiden Typenrädern dieselben Buchstaben zu gleicher Zeit sich an der untersten Stelle befinden. An dieser Stelle läuft in geringer Entfernung ein durch Rollen bewegter Papierstreifen vorbei, welcher, wenn derselbe durch einen Hebel momentan an das Typenrad geschleudert wird, durch den an der untersten Stelle des Typenrades befindlichen Buchstaben bedruckt wird. (Das Typenrad läuft an einer Frictions-Farbwalze.)

Mit dem Typenrad ist durch ein Zahnrad ein um eine Achse drehbarer Metallarm oder Schlitten *m* (Fig. 483) in Verbindung, welcher über einer Scheibe *s* läuft und eine mit dem Typenrade identische Bewegung besitzt, d. h. genau dann eine Umdrehung vollführt, wenn das Typenrad eine Umdrehung macht.

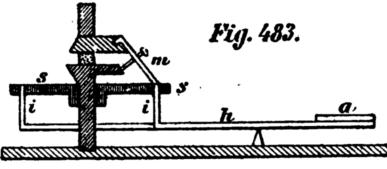


Fig. 483.

In der Scheibe *s* sind kreisförmig angeordnet, Löcher angebracht, in welchen federnde Stifte *i* stecken, welche im Ruhezustande nicht über die Scheibenoberfläche hervorragen. Diese Stifte sind an den Hebelarmen *h* angebracht, deren anderes Ende claviaturartig angeordnete Tasten *a* tragen. Wird die dem Buchstaben *a* entsprechende Taste niedergedrückt, so hebt sich das andere Ende des Hebels mit dem diesem Buchstaben ent-

sprechenden Stifte über die Oberfläche der Scheibe und der rotierende Metallarm streift diesen Stift. In diesem Momente befindet sich aber jener Buchstabe des Typenrades, welcher dem gehobenen Stifte entspricht, an der untersten Stelle des Rades. Ist der Stift mit der Batterie und der rotierende Metallarm mit der Linie in Verbindung, so wird in diesem Momente ein Strom in die Linie entsendet, welcher die Elektromagnete der Empfangsapparate beider Stationen durchläuft. Durch diese Magnete veranlasst, werden durch einen Hebel die Papierstreifen in beiden Stationen gegen die Typenräder geschleudert, und da beide Typenräder synchron laufen, so wird auf den Papierstreifen in beiden Stationen der gleiche Buchstabe abgedruckt. Dies ist zugleich eine Controle für die gebende Station.

Die Detailbeschreibung des für den Hughes-Apparat nothwendigen Relais, sowie die Art der Geschwindigkeits-Regulierung der beiden Uhrwerke, wird, als zu compliciert, hier übergangen.

β) Der Wheatstone'sche Telegraph. Das Princip desselben ist folgendes:

Die gewöhnlichen Morse-Zeichen (Punkte und Striche) werden nicht mit der Hand am Taster, sondern automatisch gegeben.

Dies geschieht dadurch, dass man einen Papierstreifen mit den Morse-Zeichen durchlöchert. Der so vorbereitete Papierstreifen läuft automatisch mit großer Geschwindigkeit durch den Gebeapparat. Jedesmal, wenn eine auf dem Papierstreifen laufende Nadel eine leere, durchlöcherte Stelle im Papiere trifft, wird ein Strom in die Leitung entsendet.

Der Empfänger ist ein polarisiertes Relais [1]).

ad *b*) Hinsichtlich der nur wenig angewendeten „Diplex"-Correspondenz wird Folgendes erwähnt:

In der Gebestation *A* werden zwei Taster, in der Empfangsstation drei Relais aufgestellt. Durch die Arbeit der zwei Taster können drei verschiedene Stromstärken eintreten, u. zw. J_1 wenn Taster T_1, J_2 wenn Taster T_2 allein arbeitet, $J_1 + J_2 = J_3$, wenn beide Taster zugleich niedergedrückt sind.

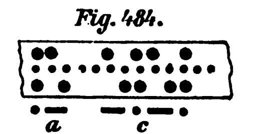
Das Relais R_1 spricht auf J_1, J_2 und J_3 an;
„ „ R_2 spricht nur auf J_2 und J_3, nicht aber auf J_1 an;
„ „ R_3 spricht auf J_3 an.

Die Apparatverbindung, deren Details hier übergangen wird, ist derart, dass auf zwei Schreibapparaten M_1 und M_2 die Zeichen der Taster T_1 und

---

[1]) In der Praxis wird der Papierstreifen nach Fig. 484 durchlöchert. Die mittlere Reihe Löcher dient zum Fortbewegen des Papieres durch ein Zahnrad. Die beiden äußeren Reihen stellen die Zeichen dar; zwei übereinander stehende Löcher stellen einen Punkt, zwei schief übereinander befindliche einen Strich dar. In diese Löcher greifen sehr rasch auf einander alternierend folgende Nadeln ein, welche abwechselnd positive und negative Ströme in die Leitung entsenden. Passieren die Nadeln den Punkt, so folgt dem entsendeten positiven Strome sehr rasch der negative, bei schief übereinander stehenden Löchern ist diese Zeit etwas größer.

Fig. 484.



In der Empfangsstation bringt der positive Strom den Relaishebel zum Anziehen, der negative entfernt ihn von dem Elektromagnet, daher Punkte und Striche entstehen. Man arbeitet daher mit Wechselströmen, was, wie auf Seite 323 gezeigt wird, von Vortheil ist.

T_2 erscheinen. Erreicht wird dies durch eine geeignete Schaltung aller Relais mit den Schreibapparaten, durch welche die Zeichen nur von dem entsprechenden Schreibapparate, nicht aber vom zweiten reproduciert werden.

ad c) Dieses System hat mehrfache Anwendung gefunden. Nicht nur das Morse'sche, sondern auch das Hughes-System kann duplexiert werden.

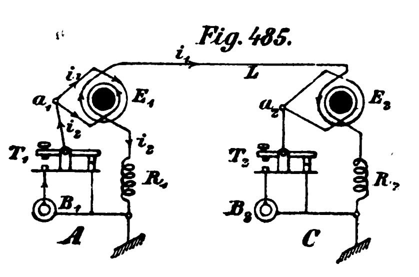
1. Als Beispiel derselben wird hier das Duplexieren des Morse'schen Systems nach der Differentialmethode beschrieben.

Der Elektromagnet E_1 (Fig. 485) des Apparates ist mit zwei gleichlangen Drähten im entgegengesetzten Sinne bewickelt.

Tritt der Strom in die Windungen des Elektromagneten bei a_1 ein, so verzweigt er sich, und die beiden nun entgegengesetzt gerichteten Ströme magnetisieren den Kern in entgegengesetzter Weise, so dass derselbe thatsächlich einen Magnetismus aufweist, welcher der Differenz der in den beiden Wicklungen auftretenden Stromstärken entspricht.

Die Functionierung der Apparate und Stationen ist folgende:

α) Die Station A correspondiert allein. Wird der Taster T_1 (Fig. 485) niedergedrückt, so entsendet die Batterie B_1 einen Strom, der sich bei a_1 verzweigt.



Der Theilstrom i_2 durchfließt den Elektromagneten E_1 und geht durch den Widerstand R_1 zum negativen Pol der Batterie zurück; der Theilstrom i_1 durchfließt ebenfalls den Elektromagneten E_1, gelangt durch die Linie L in die Windungen des Elektromagneten E_2 zum Theilungspunkte a_2, und von hier durch die Tasterachse und den Ruhecontact zur Erde. (Von a_2 geht durch die entgegengesetzte Windung von E_2 und R_2 kein Strom, da die Erdverbindung einen nur sehr geringen, E_2 und R_2 hingegen einen bedeutenden Widerstand repräsentieren.)

Ist nun der Widerstand von R_1 in der Station A_1 ebenso groß, wie der Widerstand der Linie mehr jener der Windung von E_2, so folgt, dass $i_1 = i_2$ ist, und dass daher der Magnet E_1 beim Niederdrücken des Tasters T_1 keinen Magnetismus aufweist. Es spricht der eigene Apparat nicht an, wohl aber jener von E_2, u. zw. deshalb, weil derselbe nur von i_1 und nur in einer Richtung durchflossen wird.

β) Telegraphiert die Station C, so geschieht das analoge, wie vor, nur im entgegengesetzten Sinne; es spricht also E_2 nicht an, sondern bloß E_1. Drücken beide Stationen zu gleicher Zeit den Taster nieder, so wird, da die beiden Batterien gleiche elektromotorische Kräfte entwickeln und mit den gleichen Polen an die Linie geschaltet sind, in der Linie kein Strom herrschen; dennoch erzeugen aber die von den Theilungspunkten a_1 und a_2 durch die Widerstände R_1 und R_2 in die Erde fließenden Ströme in beiden Stationen die Zeichen an den Elektromagneten E_1 und E_2, u. zw. weil nur eine Windung derselben vom Strome durchflossen, die andere, wie bereits erwähnt, stromlos ist.

γ) Wenn beide Stationen gleichzeitig correspondieren, und z. B. die Station A einen Punkt gegen C, die Station C hingegen einen Strich gegen A entsendet, so ist der Vorgang der folgende:

So lange beide Taster niedergedrückt sind, spielt sich der vorbeschriebene Vorgang ab; beide Elektromagnete sprechen infolge der durch die Widerstände R_1 und R_2 zur Erde abfließenden Ströme an, während die Linie stromlos ist. Ist A mit dem Punkt fertig und lässt den Taster los, so strömt von der Station C der Theilstrom durch den Elektromagneten E_1 und vollendet in A den Strich.

In C muss, wenn A den Taster losgelassen hat, jedoch E_2 seinen Magnetismus verlieren, da in diesem Momente die Intensität der beiden um den Elektromagneten im entgegengesetzten Sinne kreisenden Ströme einander gleich wird.

Es können sonach beide Stationen gleichzeitig und ohne Störung gegeneinander correspondieren.

Die Bedingung hiezu ist nur, dass der Widerstand der einen, vom Punkte a_1 abzweigenden, durch den Widerstand R_1 zum negativen Pol zurückführenden Leitung ebenso groß sei, als der Widerstand der zweiten von a_1 abzweigenden Stromleitung.

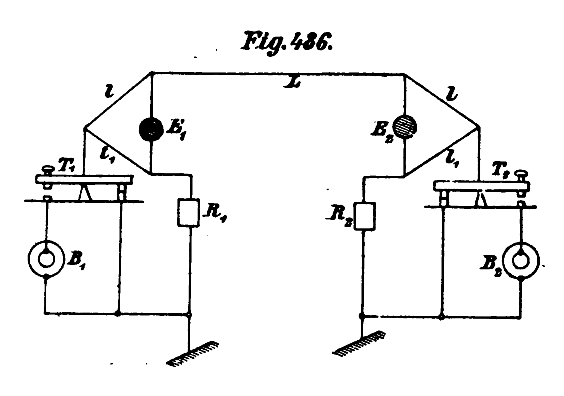
Da die Batterien hinsichtlich ihrer elektromotorischen Kraft und die Linienleitungen hinsichtlich ihres Widerstandes nicht constant sind, müssen die Widerstände R_1 und R_2 regulierbar sein. Zur Regulierung gibt A einige Zeichen, und vermehrt oder verringert seinen Widerstand R_1 so lange, bis der Apparat auf seine eigenen Zeichen nicht mehr anspricht.

Nimmt C nun gleichfalls diese Regulierung vor, so kann sonach die Correspondenz beginnen.

2. Duplex mit der Wheatstone'schen Brücke. Das Princip dieses Systems beruht in Folgendem:

Wird die Schaltung der Apparate, der Batterien und der Linie wie in Fig. 486 angeordnet, so wird hiedurch eine Wheatstone'sche Brücke geschaffen, welche bereits in Fig. 43, Seite 38 schematisch dargestellt worden ist. Es sind dann l l_1 und R die Widerstände dreier Seiten des Parallelogrammes, während die vierte Seite aus dem Widerstande x der Leitung mehr dem Widerstande des auf der entfernten Station befindlichen Empfängers besteht. Ist zwischen den durch Stöpselung regulierbaren Widerständen die Beziehung $\frac{l_1}{l} = \frac{R}{x}$ erreicht,

Fig. 486.



so fließt durch die Diagonale (G), in welcher jetzt der Empfänger E_1 geschaltet wird, kein Strom. In der zweiten Diagonale ist, wie in Fig. 43, die Batterie und der Taster eingeschaltet. Durch eine solche Schaltweise ist also die

Duplexcorrespondenz ermöglicht, und zwar sind die Empfangsapparate beider Stationen derart in die Linie eingeschaltet, dass sie nicht auf den Strom der eigenen Batterie, wohl aber auf jenen der fremden Station ansprechen.

In Bezug auf den Strom der eigenen Batterie steht der Empfänger in der Diagonale der Brücke, während hinsichtlich der fremden Batterie der Empfänger mit der Leitung die vierte Seite bildet.

ad *d*) Combiniert man dieses Brückensystem mit dem unter *b*) angeführten Diplexsysteme, so ist hiemit die Einrichtung für eine „Quadruplex-Correspondenz“ geschaffen.

ad *e*) Multiplex-Correspondenz. Es gibt mehrere Multiplexsysteme, von welchen eines hievon theoretisch erklärt werden soll, um die Möglichkeit einer solchen Correspondenz darzuthun.

Wenn man zwei Stimmgabeln auf einem Tische aufstellt und eine hievon durch Anschlag zum Tönen bringt, so schwingt die zweite nur dann mit, wenn sie auf dieselbe Tonhöhe gestimmt ist, d. h. wenn beide die gleiche Schwingungszahl pro Secunde haben. Werden nun die zwei Stimmgabeln an zwei verschiedenen Stationen aufgestellt, und benützt man statt der Luft die Elektricität als Vermittlerin der Schwingungen, so ist die Correspondenz zwischen den zwei Stationen hergestellt, u. zw. wird die Stimmgabel der gebenden Station derart mit der Batterie verbunden, dass dieselbe bei jeder Schwingung der Klinge einen Strom in die Leitung entsendet.

Auf der anderen Station durchlaufen diese je nach der Schwingungszahl rasch aufeinander folgenden, elektrischen Wellen einen Elektromagnet, dem die zweite Stimmgabel als Anker vorliegt.

Diese wird daher, wenn die ihr eigenthümliche Schwingungszahl mit jener der entsendeten elektrischen Wellen pro Secunde übereinstimmt, mitschwingen.

Stellt man nun in jeder Station eine Reihe verschieden gestimmter Stimmgabeln auf, welche paarweise gleichgestimmt sind, und wird nun irgend eine der Stimmgabeln in der Station *A* zum Schwingen gebracht, so schwingt in der Station *B* nur immer eine Stimmgabel mit, u. zw. jene, welche in der Schwingungszahl mit der in *A* vibrierenden Stimmgabel übereinstimmt.

Werden in *A* mehrere Stimmgabeln gleichzeitig zum Schwingen gebracht, so fließen alle von den einzelnen schwingenden Klingen in die Leitung entsendeten Ströme durch dieselbe Leitung in die Station *B* und durchlaufen alle Elektromagnete der Empfangsapparate.

In diesen vollzieht sich nun gewissermaßen eine Sonderung der verschiedenen Ströme derart, dass die von jeder Klinge in *A* entsendeten Schwingungen nur die auf denselben Ton gestimmten der Station *B* in Bewegung setzen.

Die Detaileinrichtung, sowie die Accommodierung dieses Systems auf Morse-Zeichen kann auf mehrfache Art geschehen, wird jedoch, als nicht das Princip tangierend, hier übergangen.

8. Darstellung der Zeichenbeförderung.

Wenn der Strom einer Batterie durch eine kurze oberirdische Leitung entsendet wird, so tritt am anderen Ende der Leitung, infolge der großen Geschwindigkeit der Elektricität, fast augenblicklich die nach dem Ohm'schen Gesetze entsprechende Stromintensität ein.

Thatsächlich erleiden infolge der Beschaffenheit der Leitung die entsendeten telegraphischen Zeichen auf kurzen oberirdischen Leitungen keine Störung, wohl aber werden sämmtliche Zeichen in der Empfangsstation ein wenig verkürzt ankommen; dies erhellt aus folgenden Gründen:

Mit dem Momente, als der Taster der Station A niedergedrückt und beispielsweise der Strich begonnen wird, erlangt der Magnetismus des Empfangsapparates in der Station B nicht sogleich die volle, zum Anziehen der Armatur nothwendige Stärke, sondern dies bedarf einer gewissen, wenn auch geringen Zeit.

Wenn der Magnetismus nun auch die zum Anziehen der Armatur nothwendige Stärke erlangt hat, so beginnt der Schreibapparat noch immer nicht das betreffende Zeichen zu reproducieren, weil die Armatur des Relais einen, wenn auch kleinen Weg zurückzulegen hat, um die Localbatterie zu schließen.

Umgekehrt, wenn A den Strich vollendet hat, ist die Leitung, wenn sie oberirdisch und kurz ist, fast augenblicklich entladen. Der Magnetismus des Empfangsapparates in B muss jedoch so weit sinken, bis die Feder des Relais denselben abreißen kann, worauf der Localschluss sofort unterbrochen wird.

Diese Erscheinungen spielen bei kurzen oberirdischen Leitungen keine fühlbare Rolle, und es functionieren selbst die am schnellsten arbeitenden Apparate auf derlei Leitungen tadellos.

Bei sehr langen oberirdischen Leitungen wird jedoch die Verkürzung der Zeichen merkbar, insbesondere dann, wenn ein Translationsapparat in der Leitung eingeschaltet ist, wodurch, ähnlich wie beim Relais und beim Schreibapparate, infolge der Zeit, welche zum Ansprechen des Translationsapparates nothwendig ist, sich die Zeichen verkürzen.

Sind in dieser langen Leitung viele Stationen eingeschaltet, so tritt als weiterer Umstand die Selbstinduction der in der Leitung eingeschalteten Relais dazu, welche das Eintreten der vollen Stromstärke verzögert.

Führen endlich parallel mit der betrachteten Leitung noch mehrere andere Leitungen, u. zw. auf demselben Gestänge, so wird durch die gegenseitige Induction beider Leiter gleichfalls eine Verzögerung der nach dem Ohm'schen Gesetze entsprechenden Stromintensität erfolgen.

Es folgt hieraus, dass man auf Telegraphenleitungen, insbesondere bei Translationen langsamer arbeiten muss, und speciell die Punkte beim Morse'schen Systeme etwas länger, also eigentlich als kurze Striche geben muss.

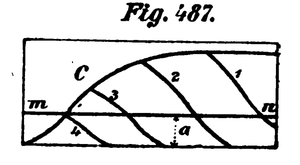
Um diese Verkürzung der Zeichen möglichst hintanzuhalten, soll die Entfernung der Contactpunkte am Relais möglichst gering sein; der Relaishebel soll eine möglichst geringe Zeit brauchen, um den Localstrom zu schließen. Weiters soll die Federspannung am Relais beim Arbeitsstrome eine derartige sein, dass schon ein sehr geringer Strom genügt, um den Relaishebel zum Ansprechen zu bringen. Beim Ruhestrome hingegen soll die Federspannung eine derartige sein, dass der Relaishebel im Ruhezustande gerade noch nicht von den Magneten abgerissen wird, und dass hiezu schon eine, um ein Geringes verminderte Stromstärke genügt. Ebenso sollen die Contacte bei den Translationsapparaten und deren Federspannung den beim Arbeitsstrome angeführten Bedingungen entsprechen.

Die Vorgänge in einer Leitung bei entsendeten Stromemissionen lassen sich am besten nach einer graphischen Darstellung be-

urtheilen. In Fig. 487 stellen die Horizontalen die Zeitdauer, die Verticalen die Stromintensität dar.

Betrachtet man den Verlauf der Curve C, so findet man, dass vom Momente des Niederdrückens des Tasters die Intensität des Stromes in der Leitung rasch, sodann langsamer zunimmt, um endlich bei fortgesetztem Anhalten des Tasters das Maximum, d. h. die nach dem Ohm'schen Gesetze entsprechende Stromintensität zu erreichen. Man nennt den, durch den Maximalwert der Curve C dargestellten Zustand den „permanenten Strömungszustand", während die Zeitdauer des Anwachsens der Stromstärke (also der ansteigende Theil der Curven) bezw. die Dauer des Abnehmens (der abfallende Theil in den Curven 1 bis 4), der „veränderliche Zustand" genannt wird.

Fig. 487.



Lässt man den Taster in einem gewissen Momente los, so stellen die Curven 1 bis 4 das Abnehmen der Stromintensität in vier verschiedenen Fällen dar; dieselbe sinkt zuerst rasch, dann langsamer bis zur Abcissenachse.

Stellt weiters die im Abstande a von der Abcissenachse gezogene Gerade $m\,n$ jene Stromstärke dar, welche nothwendig ist, um die Empfangsapparate zum Ansprechen zu bringen, so ersieht man, dass der Empfangsapparat nicht sofort beim Niederdrücken des Tasters anspricht, sondern erst, bis die Stromintensität die Größe a erreicht hat. Umgekehrt sieht man, dass der Empfangsapparat nicht sofort beim Loslassen des Tasters abfällt, sondern erst, wenn die Stromintensität unter das Maß von a gesunken ist und endlich, dass bei kurzdauerndem Niederdrücken des Tasters die Intensität a überhaupt nicht erreicht wird (Curve 4), d. h. der Empfangsapparat überhaupt nicht anspricht und kein Zeichen reproduciert.

Es kann ferner der Fall vorkommen, dass beim Aufhören des Zeichens die Intensität des Stromes noch nicht unter das Maß von a gesunken ist, während bereits ein neues Zeichen gegeben wird, wodurch sich die Curve neuerdings hebt; hiebei fällt der Empfangsapparat überhaupt nicht ab und reproduciert derselbe beide gegebenen Zeichen als eines zusammengezogen.

Um diesen Verhältnissen Rechnung zu tragen, muss das Bestreben darauf gerichtet sein, die Dauer des veränderlichen Zustandes möglichst zu verkürzen.

Man erreicht dies bei oberirdischen Leitungen auf mehrfache Weise.

Der Abstand a muss so klein als möglich, d. h. die Empfindlichkeit der Apparate möglichst groß gemacht werden. (Stellung und Federspannung des Relaishebels.)

Um ein rasches Ansteigen der Curve zu erzielen, wendet man starke Batterien an, weil mit dem Wachsen der elektromotorischen Kraft die Curve steiler wird.

Um ein rasches Abfallen der Stromintensität zu erzielen, legt man den Anfang der Leitung nach jedem beendigten Zeichen an die Erde, so dass die Elektricität nach beiden Seiten zur Erde fließt, demnach die Entladung rascher erfolgt, als wenn der Anfang isoliert bliebe. (Bei den Schaltungen nach System Morse geschieht dies ohnehin durch den Taster.)

Endlich werden, wie z. B. beim System Wheatstone, die Zeichen durch Wechselströme gegeben, wo der positiven Stromemission unmittelbar eine negative folgt, wodurch die Entladung noch rascher erfolgt.

Alle diese vorerwähnten Umstände spielen in hervorragendem Maße bei unterirdischen Leitungen, also bei Erd- und submarinen Kabeln, eine Rolle. Hiebei ist die Leitung die eine, das feuchte Erdreich, Wasser und die eiserne Armatur des Kabels die zweite Belegung eines Condensators, der umsomehr Elektricität als Ladung aufnimmt, je länger die Kabelleitung und je höher die elektromotorische Kraft des Stromes, ferner, je kleiner der Abstand der beiden Belegungen des Condensators, d. h. je dünner die isolierende Umhüllung des Kabels ist.

9. Correspondenz auf Kabelleitungen.

Kabelleitungen haben, wie bereits erwähnt, eine auf die telegraphische Correspondenz einflussnehmende Capacität.

Es bedarf daher das Kabel einer beträchtlichen Elektricitätsmenge, um geladen und entladen zu werden, wodurch sich die Dauer des veränderlichen Zustandes verlängert, u. zw. derart, dass auf den langen, submarinen Kabeln die Zeichen sehr langsam gegeben werden müssen, um sie an der Empfangsstation deutlich wahrnehmen zu können [1]).

Um jedoch trotzdem eine genügende Geschwindigkeit der Correspondenz auf den langen submarinen Leitungen zu erzielen, werden folgende Mittel angewendet:

a) Wahl äußerst empfindlicher Empfänger. Als am geeignetsten hiezu erscheinen Galvanometer, welche durch entsprechende Construction eine derartige Empfindlichkeit erlangen können, dass sie schon bei einem Strome von $\frac{1}{10^9}$ Ampère große Ausschläge geben. Hiedurch erlangt der Strom sehr rasch diese Intensität und es wird auch nach Beendigung des Zeichens die Leitung sehr bald stromlos. Die Stromemissionen können demnach verkürzt werden.

b) Beschleunigung der Entladung, d. h. Anwendung einer Correspondenz mit alternierenden Strömen.

Aber noch ein anderer Umstand beeinträchtigt die Correspondenz auf derlei Kabelleitungen. Es sind dies die auftretenden, ihre Stärke und Richtung wechselnden tellurischen Ströme, welche oft eine solche Intensität erreichen, dass dagegen der zur Correspondenz benützte Strom beinahe Null ist. Diese tellurischen Ströme würden die Nadel des Galvanometers in beständiger Schwankung erhalten und hiedurch die Correspondenz unmöglich machen.

Um diesem Umstande zu begegnen, wird die Leitung in jeder der beiden Endstationen durch einen Condensator unterbrochen. Die eine Belegung ist

---

[1]) Eine Verstärkung der elektromotorischen Kraft durch Wahl einer größeren Anzahl von Elementen bewirkt in diesem Falle keine Verkürzung der Dauer des veränderlichen Zustandes, da die Capacität des Kabels im selben Verhältnisse wie die elektromotorische Kraft wächst.

Die Verstärkung der elektromotorischen Kraft der Linienbatterie würde auch eine Gefahr für die Erhaltung der Isolierung des Kabels bedeuten.

mit den Stationsapparaten, die andere mit dem Leitungsdrahte des Kabels verbunden. Diese Condensatoren nehmen sodann die tellurischen Ströme auf.

Um Zeichen zu geben, wird mittels eines Commutators die eine Belegung des Condensators mit einem Pole der Linienbatterie verbunden, diese Belegung also hiedurch geladen. Es erfolgt damit eine Veränderung des elektrischen Zustandes des Kabels und der mit dem Kabelende in Verbindung stehenden Condensator-Belegung der empfangenden Station.

Die andere mit den Stationsapparaten in Verbindung stehende Condensator-Belegung erhält ebenfalls einen inductiven Impuls, welcher sich am Galvanometer durch eine Ablenkung der Nadel äußert.

Bedeutet eine Ablenkung der Nadel nach rechts einen Punkt, nach links einen Strich des Morse-Alphabets, so können demnach die Zeichen dadurch gegeben werden, dass die gebende Station mittels eines Commutators bald den einen, bald den anderen Pol der Linienbatterie mit der einen Belegung des Condensators in Verbindung bringt.

Als Empfänger dient, wie bereits erwähnt, ein Galvanometer, u. zw. behufs besserer Ablesung ein Spiegelgalvanometer, welches vollkommen aperiodisch gemacht wurde.

Die tellurischen Ströme können die Galvanometernadel nicht zum Schwanken bringen, weil diese Ströme nur langsam in ihrer Intensität variieren und nur eine allmähliche Verschiebung des Ruhezustandes der Nadel bewirken, welche durch eine Verschiebung der Galvanometerscala im entsprechenden Sinne paralysiert werden kann.

Um die Galvanometerzeichen zu fixieren, wird mit der Nadel eines Galvanometers eine äußerst feine Glasröhre — heberartig gebogen, — in Verbindung gebracht, deren eines Ende sich über einem durch ein Uhrwerk fortbewegten Papierstreifen befindet und deren zweites Ende in Tinte taucht.

Wird die Tinte durch eine Elektrisiermaschine positiv elektrisch, der Papierstreifen negativ elektrisch gemacht, so presst sich die Tinte durch das Glasröhrchen und wird in sehr feinem Strahle auf das Papier gespritzt. Auf diesem erscheint sodann, je nach der Ablenkung der Galvanometernadel, eine Wellenlinie, deren linke Ausbauchungen z. B. Punkte und deren rechte, Striche bedeuten.

Das Lesen dieser Zeichen ist weit leichter, als jenes am Spiegelgalvanometer, welches für die Augen sehr ermüdend ist.

Durch diese Anordnungen lässt sich demnach auch für lange submarine Leitungen eine genügend rasche Correspondenz erzielen.

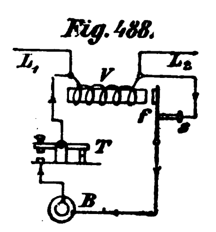
10. Die Correspondenz mit Inductionsströmen.

Bisher wurden zur Correspondenz nur galvanische Ströme benützt, welche infolge Transformation in mechanische Energie irgend welche Apparattheile in Bewegung setzen, hiedurch die übermittelten telegraphischen Zeichen fixierend.

Man kann jedoch auch durch geeignete Apparate die galvanischen Ströme in Inductionsströme transformieren und diese zur Correspondenz benützen.

Dies geschieht auf folgende Art:

Die Fig. 488 stellt einen Selbstunterbrecher dar. In der Spule V des Selbstunterbrechers entstehen, wenn man den Taster niederdrückt und den Strom der Batterie hiedurch schließt, infolge der raschen Bewegung der Vibrierfeder f und der dadurch bedingten zahlreichen Stromunterbrechungen und Stromschließungen, Extraströme. Der Öffnungsextrastrom, welcher entsteht, wenn die Feder f den Contact an der Schraube s verlassend, den Strom unterbricht, und hiedurch der Magnetismus des Eisenkernes in V verschwindet, findet keinen geschlossenen Stromkreis und überspringt daher in Form eines Funkens von der Schraube s zum Federcontact f.



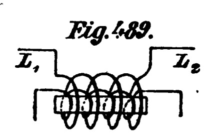
Der Schließungsextrastrom, dann entstehend, wenn die Feder f an die Schraube s sich anlegt und hiedurch den Strom schließt, findet einen geschlossenen Stromkreis vor und strömt beispielsweise von einem Spulenende durch den niedergedrückt gehaltenen Taster T und die Batterie B, weiters durch den geschlossenen Contact an der Schraube s zum zweiten Spulenende.

Die Spule ist daher als eine Batterie zu betrachten, welche an ihren beiden Enden Extraströme liefert.

Verbindet man nun die Linien L_1 L_2 nach Fig. 488 mit den beiden Spulenenden von V, so gelangen die Extraströme in die Linien und können daselbst in eingeschalteten Telephonen gehört werden. Diese reproducieren die telegraphischen Zeichen als mehr oder minder hohe Töne, deren Schwingungszahl gleich ist der Schwingungszahl der Feder f und deren Dauer (Punkt, Strich) dem Niederdrücken des Tasters entspricht.

Die Aufnahme geschieht nach dem Gehöre. Wie aus der Fig. 488 ersichtlich, liegt bei niedergedrücktem Taster der positive Pol der Batterie B an Leitung L_1, der negative Pol, wenn die Feder an der Schraube anliegt, an Leitung L_2; die Batterie entsendet daher auch direct in die Linien einen Theilstrom, der als ein Verlust zu betrachten ist. Dieser Theilstrom ist jedoch, wenn der Widerstand der Linie gegenüber jenem der Spule sehr hoch ist, also bei langen Leitungen sehr gering; bei kurzen Leitungen fällt derselbe ebenfalls nicht in's Gewicht, da die durch den übrigen Theil des Stromes erzeugten Extraströme bei kurzen Leitungen genügen, um sehr gut hörbar zu sein.

Ähnlich ist die Correspondenz mit Inductionsströmen. Die secundäre Spule (Fig. 489) wird mit ihren Spulenenden mit der Linie L_1 und L_2 verbunden. Die primäre Spule bleibt, wie in Fig. 488, geschaltet. Hiebei tritt kein Stromverlust, wie bei der Extrastromcorrespondenz auf. Die Extraströme und die Inductionsströme eignen sich sehr gut zur Führung der Correspondenz auf Leitungen, deren Widerstand ein sehr hoher und deren Isolation eine sehr schlechte ist.



Mittels dieser beiden Correspondenzarten ist man ferners in die Lage gesetzt, Leitungen, auf denen irgend eine andere galvanische Correspondenz bereits stattfindet, zum telegraphischen Betriebe mit Inductionsströmen gleichzeitig, und ohne die galvanische Correspondenz auch nur im geringsten zu irritieren, mitbenützen zu können.

Die bezügliche Anordnung stellt Fig. 490 dar.

Auf der Linie *x*, *y* findet galvanischer Betrieb statt, *G* ist eine in dieser Linie eingeschaltete galvanische Station.

Wird in *A* mittels eines Condensators *C* der in Fig. 488 oder 489 erläuterte Extrastrom, oder Inductionsapparat *R* an die Leitung angeschaltet, so kann die in *A* geführte Correspondenz in *B* in einem ebenfalls mittels eines Condensators *C* mit der Leitung verbundenen Telephone *T* gelesen werden.

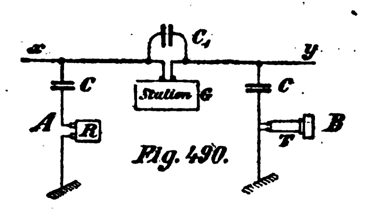


Fig. 490.

Die galvanische Station *G* kann mittels eines Condensators C_1, um die hohe Selbstinduction der Stationsapparate für die Inductions-Correspondenz zu eliminieren, ausgeschaltet werden. Die galvanische Correspondenz der Linie *x*, *y* wird in keiner Weise behindert, da die galvanischen Ströme durch den Condensator nicht zur Erde gelangen können, anderseits die Inductionsströme das Relais der galvanischen Stationen in keiner Weise afficieren, weil sie zu geringe Intensität besitzen und zu rasch in ihrer Richtung wechseln (mehrere hundertmale pro Secunde), als dass sie den Relaishebel zu einer Bewegung veranlassen würden.

11. Störungen des telegraphischen Betriebes.

Dieselben bestehen in: *a*) Unterbrechungen, *b*) Isolationsfehlern und *c*) ungenügender elektromotorischer Kraft der Stromerzeuger (Batterien).

Dem Orte nach können Störungen innerhalb der Station oder außerhalb derselben (Linienstörungen) vorkommen.

Die Ursache der Störungen kann so mannigfach sein, dass unmöglich auf jede einzelne eingegangen werden kann.

Kommt eine Störung vor, so ist der Stationsbeamte vorerst verpflichtet festzustellen, ob die Störung in seiner Station oder außerhalb derselben liegt.

Dies und die folgende Untersuchung geschehen auf folgende Weise:

ad *a*) Bei Unterbrechungen. Dieselben äußern sich beim Arbeitsstrome dadurch, dass beim Niederdrücken des Tasters das Galvanoskop keinen Strom anzeigt, beim Ruhestrome und amerikanischen Ruhestrome dadurch, dass im Ruhezustande Galvanoskop und Relais keinen Strom anzeigen.

Verbindet man die beiden in die Station einlaufenden Leitungen, so muss beim Ruhestrome und amerikanischen Ruhestrome das Relais und Galvanoskop ansprechen, beim Arbeitsstrome das Galvanoskop Strom anzeigen, wenn der Taster niedergedrückt wird.

Findet dies statt, so ist die Unterbrechung nicht in der Station, sondern in der Linie. Ist sie in der Station, so ist es am einfachsten, die Station im Linienwechsel auszuschalten, so dass die Correspondenz der übrigen Stationen in der Linie untereinander nicht behindert wird, und nun mit Zuhilfenahme der Batterie und des Galvanoskops Apparat für Apparat in Bezug auf seine Stromcontinuität zu prüfen.

Ist die Unterbrechung in der Linie, so constatiert die Station durch Verbindung zuerst der einen, dann der anderen Linie mit der Erde (im

Linienwechsel), auf welcher Seite der Station die Unterbrechung liegt. Sodann wird diese Linie, welche die Unterbrechung aufweist, einer speciellen, detaillierten Untersuchung unterzogen. Gewöhnlich genügt ein Abgehen der Leitung, um den Fehler, meistens einen Drahtriss, aufzufinden.

Ist ein auf diese Weise nicht auffindbarer Fehler vorhanden, so schaltet eine im Voraus hiezu bestimmte Station, „Untersuchungsstation" genannt, an die unterbrochene Linie ein Relais, ein Galvanoskop und einen Taster mittels amerikanischen Ruhestromes derart ein, dass die Untersuchungsstation bezüglich der unterbrochenen Strecke eine Endstation bildet.

Geht man nun mit einem Relais und einem Taster auf die Linie hinaus, schaltet streckenweise, etwa von *km* zu *km*, die Apparate an die Leitung an, und untersucht, ob man die Correspondenz mit der Untersuchungsstation führen kann, so liegt der Fehler zwischen jener Stelle, wo man noch correspondieren konnte, und wo dies nicht mehr der Fall ist. Diese Strecke wird sodann durch fortgesetztes Halbieren mit der Anschaltung eingeschränkt, und endlich die nun kurze Strecke, in welcher der Fehler liegt, einer genauen Prüfung unterzogen.

Vorausgesetzt wird bei dieser Untersuchung, dass nur die Untersuchungsstation Strom in die Leitung entsendet, die Nachbarstation jedoch nicht; dieselbe muss die fehlerhafte Leitung isolieren, und nur zeitweise sich die Überzeugung verschaffen, ob der Fehler bereits behoben ist. Hieraus folgt, dass das Benehmen der Stationen im Falle einer Störung im voraus geregelt, und bestimmt werden muss, welche Stationen (jede zweite) als Untersuchungsstationen zu fungieren haben.

ad *b*) Bei Isolationsfehlern. Isolationsfehler oder Ableitungen kommen selten in der Station, wo sie dann leicht aufzufinden und zu beheben sind, meistens jedoch auf der Linie vor, und bestehen in Berührungen der Leitung mit anderen Leitungen oder leitenden Gegenständen, endlich in Drahtrissen, wenn das Ende des Leitungsdrahtes mit Wasser oder mit dem nassen Erdboden in Verbindung steht.

Sie äußern sich durch stärkeren (als normalen) Galvanoskop-Ausschlag, da der Gesammtwiderstand der Leitung durch den Isolationsfehler verringert wird.

Durch Abschließen der einen und sodann der anderen Leitung lässt sich constatieren, auf welcher Seite der Station der Isolationsfehler liegt. Er befindet sich auf jener Seite, gegen welche hin die Correspondenz gar nicht oder nur schlecht möglich ist.

Die am sichersten zum Ziele führende Untersuchungsmethode ist folgende: Beide Stationen, zwischen welchen die Ableitung liegt, isolieren die fehlerhafte Linie. Der Untersuchende geht auf die Strecke mit Taster, Batterie und Relais, schneidet die Leitung von Strecke zu Strecke durch und schaltet sich in das eine, sodann in das andere Ende der getrennten Leitung ein.

Wenn der gegen die Ausgangsstation liegende Leitungstheil Strom bei der Einschaltung aufweist, so hat der Untersuchende den Isolationsfehler überschritten.

Die fehlerhafte Strecke wird sonach beliebig eng eingegrenzt und der Fehler sodann durch detaillierten Augenschein gefunden und behoben.

ad *c*) Die Prüfung der Batterien hinsichtlich ihrer Stromfähigkeit geschieht am besten dadurch, dass man Element für Element in ein Relais

einschaltet; jedes gute Element soll ein fein gestelltes Relais zum Ansprechen bringen. Fehlerhafte Elemente werden eliminiert, gereinigt, schadhafte Theile ausgewechselt und das Element neu gefüllt.

Alle Apparate sind, um Fehler zu vermeiden, vor Staub und Rost zu schützen, die Contacte rein zu erhalten, die Blitzschutzvorrichtungen öfters, besonders nach Gewittern, zu untersuchen, da sich oft durch leitende Fremdkörper oder durch Schmelzkügelchen nach atmosphärischen Entladungen Erdverbindungen ergeben.

Die Linienleitung selbst ist endlich, auch wenn sich keine Fehler ergeben, von Zeit zu Zeit auf ihren baulichen Zustand und auf ihre klaglose Betriebsfähigkeit und Standfähigkeit durch fachkundige Organe zu revidieren.

Die Kraftübertragung.

1. Das Wesen der elektrischen Kraftübertragung.

Unter elektrischer Kraftübertragung versteht man die Umwandlung mechanischer Energie in elektrische am Krafterzeugungsorte, und die Rückwandlung der fortgeführten elektrischen in mechanische Energie am Verbrauchsorte.

Wären beispielsweise verfügbare 100 Pferdestärken zu übertragen, so kann:

1. die von einer Dampfmaschine oder einem Wassermotor gelieferte Energie von 100 HP zum Antriebe einer elektrischen Maschine (der Generatormaschine) verwendet werden. Die durch diese Maschine erzeugte Elektricität kann man auf 10*km* weiter leiten und am Ende der Leitung in einer zweiten elektrischen Maschine, dem „Elektromotor“ oder kurz „Motor“ genannt, derart umsetzen, dass diese imstande ist, eine gewisse, motorische Kraft, z. B. den Antrieb einer Mühle etc., zu übernehmen;

2. man kann aber auch so vorgehen, dass man die von der ersten elektrischen Maschine gelieferte elektrische Energie am Erzeugungsorte aufspeichert, die aufgespeicherte Elektricität dann an einen anderen Ort überführt, und an der Verbrauchsstelle oder auf der Verbrauchsstrecke in einen Elektromotor entladet, welcher eine Transmission, oder wie z. B. bei Booten, eine Schraube zu treiben vermag.

In dem ersten Falle hat man die Elektricität gewissermaßen in lebendiger Form, d. h. mittels Zuleitungsdrähten fortgeleitet, während im zweiten Falle dies mittels der Accumulatoren geschah. Die letztere Fortleitung hat gegenüber der ersteren in manchen Fällen einen Vorzug, da man selbst dann noch eine Betriebskraft anwenden kann, wenn die Erzeugermaschine stillsteht. Es ist im zweiten Falle der Motor gewissermaßen transportfähig gemacht worden.

In beiden Fällen ergibt sich aber, dass jede elektrische Kraftübertragung im wesentlichen aus drei Theilen besteht, u. zw.:

a) der Kraftquelle, welche die Generator- oder Primärstation enthält, d. i. jene Anlage, wo mechanische (Dampf-, Wasser-) Kraft in elektrische umgewandelt wird, oder wo sonach die Kraft für die Übertragung geliefert wird;

b) die **Leitung** oder aber die **Sammelapparate**, mittels welchen die erzeugte Elektricität vom Erzeugungs-, zum Verbrauchsorte fortgeführt wird, und

c) die **Motor- oder Secundärstation**, in welcher die elektrische Energie durch den elektrischen Motor wieder in mechanische Energie umgesetzt wird. Während sonach die erste Station die antreibende ist, ist die zweite die angetrieben werdende.

Sowohl die Generator-, als auch die Motorstation enthalten elektrische Maschinen, welche entsprechend den drei Stromformen, Gleich-, Wechsel- oder Mehrphasenstrom-Maschinen (-Generatoren, bezw. -Motoren) sein können und darnach auch den **Charakter** einer Kraftübertragungsanlage bestimmen. Man spricht also üblich von Kraftübertragungsanlagen mit Gleichstrom, oder mit Wechsel-, oder mit Mehrphasenstrom.

Der einfachste Fall einer elektrischen Kraftübertragung ist jener, wo in beiden Stationen nur je eine Maschine vorhanden ist. Es können jedoch in der Secundärstation auch mehrere Elektromotoren angewendet werden; damit bekommt man eine Übertragung mit **Kraftvertheilung**.

In beiden Fällen beruht das **Princip** der elektrischen Kraftübertragung auf der **Umkehrbarkeit** elektrischer Maschinen. Man kann nämlich jede elektrische Maschine sowohl als Stromquelle, d. h. als Generator, wie auch als Elektromotor verwenden. Dies erhellt aus nachfolgender Darstellung.

Es sei in der Fig. 491 D_1 eine im Betriebe befindliche Generatormaschine, deren Strom über die positive Polklemme p durch die Leitung L in die Magnetbewicklung E_2 der Dynamo D_2 (oder des Motors) geführt wird. Der Strom tritt sodann über die negative Bürste $-B_1$ in den Anker A_2 ein, und kehrt über die positive Bürste B und durch die Leitung L_1 wieder zur Generatormaschine D_1 zurück. Infolge der Wirkung des in D_2 eintretenden Stromes J wird der Anker A_2 der als stillstehend angenommenen Dynamo-Maschine D_2 zur Drehung gebracht werden. Durch den Strom J werden nämlich der Magnet E_2 und der Anker A_2 (Fig. 492) magnetisiert. Es wird bei der gezeichneten Stromrichtung in den Polschuhen der Elektromagnete E_2 ein Nordpol N und Südpol S entstehen, und überdies wird der Eisenkern des Ankers A_2 derart magnetisiert, dass infolge der Wirkung von N und S ein Pol s und n, ferner durch die Ringbewicklung die Pole s^1 und n^1 im Ankerkerne entstehen. Diese letzteren vier Pole (s, s^1 und n, n^1) setzen sich zu einem resultierenden Pole S^1, N^1 zusammen. Die Pole NS und $N^1 S^1$ beeinflussen sich nun gegenseitig, d. h. es findet einerseits eine stärkere Anziehung zwischen N und S^1, dann anderseits zwischen S und N^1, ferner eine schwächere Abstoßung einerseits zwischen N und N^1, dann anderseits zwischen S und S^1 statt. Infolge dieser anziehenden und abstoßenden Wirkungen entsteht ein Kräftepaar, welches nunmehr den sich frei bewegen könnenden Anker A_2 zur Drehung bringt; die

Fig. 491.

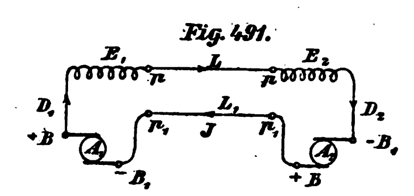
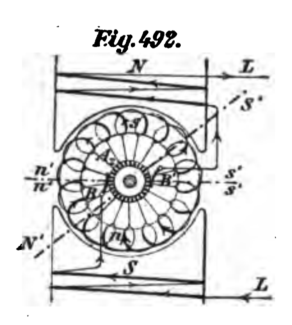


Fig. 492.



Maschine D_2 wird sich sonach entgegen der Richtung der Uhrzeigerbewegung drehen. Diese Richtung ist zugleich entgegengesetzt jener, bei welcher die Dynamo als Generator wirken würde. (Siehe die Fig. 145, Seite 99.) Eine solche Dreherscheinung tritt nun bei allen elektrischen Maschinen auf, und es gibt sonach jede elektrische Maschine, wenn ihr elektrischer Effect zugeführt wird, mechanischen Effect (Drehbewegung), wie umgekehrt, wenn ihr mechanischer Effect zugeführt wird, sie als Generator elektrischen Effect liefert. Naturgemäß findet bei dieser doppelten Umsetzung stets ein gewisser Verlust statt, welcher einerseits in den Maschinen, anderseits in der Leitung liegt.

Der Elektromotor ist im allgemeinen also nichts anderes als eine elektrische Maschine, welche dieselbe Construction, oft auch dieselbe Größe, wie der Generator, hat und dieselbe Energieumwandlung, wie der Generator, nur im umgekehrten Sinne ausführt. Theoretisch sind Generator (primäre Dynamo-Maschine) und Motor (secundäre Dynamo-Maschine) gewissermaßen umgekehrte Begriffe.

In der Praxis besteht jedoch zwischen diesen beiden meist ein Unterschied, da die beste Dynamo-Maschine nicht immer den besten Motor abgibt, indem die Bedingungen, welchen die Generatoren Genüge leisten sollen, verschieden von jenen der Motoren sind.

Setzt man also den in der Fig. 491 dargestellten, einfachsten Fall voraus, wobei D_1 und D_2 zwei Seriendynamo darstellen, so wird in der Generator-Dynamo-Maschine D_1 durch die Zufuhr mechanischer Arbeit der rotierende Anker A_1, entsprechend seiner Tourenzahl und dem Widerstande im Stromkreise, einen elektrischen Strom von gewisser Spannung E_g (Primärspannung), sowie von bestimmter Stromstärke erzeugen.

Dieser Strom durch die einfacherweise als widerstandslos angenommene, und vollkommen isolierte Zwischenleitung $L\ L_1$ in den Motor D_2 geführt, wird denselben sonach in Rotation zu bringen vermögen. Der Anker A_2 der Secundärmaschine wird sich unter dem Einflusse des Primärstromes zu drehen beginnen und es muss infolge des durch den eintretenden Strom in den Feldmagneten E_2 erregten Magnetismus, bezw. durch die Drehung der Armatur A_2 des Motors, eine „elektromotorische Gegenkraft“ E_m erzeugt werden, welche gewissermaßen den Reactions- oder Gegendruck darstellt, der den Strom der Primärmaschine D_1 schwächt. Der an den Klemmen des Motors auftretende Druck, oder die hier herrschende Spannung wird als Nutz- oder Betriebsspannung bezeichnet; diese ist beim Motor stets größer als die elektromotorische Gegenkraft, während die Klemmenspannung eines Generators stets kleiner als die elektromotorische Kraft desselben ist.

Nimmt man zur Vereinfachung den Widerstand der beiden Maschinen so klein an, dass er praktisch vernachlässigt werden kann, so kann man statt den Klemmenspannungen in den folgenden Ableitungen die elektromotorische Kraft und Gegenkraft in die Formeln einführen.

Beim Betriebe der zwei durch eine Leitung miteinander verbundenen Dynamos werden sonach zwei elektromotorische Kräfte erzeugt, welche einander entgegengesetzt sind. Die resultierende elektromotorische Kraft des geschlossenen Stromkreises wird daher sein: $E^1 = E_g - E_m$, wo E_g jene der Primärmaschine, E_m jene der Secundärmaschine vorstellt.

Sind nun w_g, w_m, r die Widerstände des Generators, des Motors und der Zwischenleitung, und stellt $W = w_g + w_m + r$ den Gesammtwiderstand des geschlossenen Stromkreises dar, so ist die nach dem Ohm'schen Gesetze abgeleitete, resultierende Stromstärke

$$J = \frac{E_g - E_m}{W}.$$

Der resultierende Strom leistet aber Arbeit, bezw. es wird die elektrische Energie des Motors in mechanische Energie, u. zw. in Rotationsarbeit, umgesetzt.

Da nun die elektrische Energie gleich dem Producte aus der Nutzspannung in die resultierende Stromstärke ist, und die Nutzspannung annäherungsweise gleich der elektromotorischen Gegenkraft gesetzt werden kann, so wird die mechanische Arbeit sich durch die Gleichung:

$$A_m = E_m J = \frac{E_m (E_g - E_m)}{W}$$ ausdrücken lassen.

Diese Arbeit ist, wenn P die auf der Motorwelle entwickelte Tangential-Zugkraft, v die Umfangsgeschwindigkeit bedeutet, auch gleich $A_m = Pv$ [1]); sonach folgt, dass $Pv = E_m J$ oder $P = \frac{E_m J}{v}$ ist.

Die vom Generator aufgewendete Arbeit A_g ist: $A_g = E_g \cdot J$, und das Verhältnis der elektrischen Nutzarbeit zur aufgewendeten elektrischen Arbeit der Primärdynamo ist sonach: $\frac{E_m J}{E_g J} = \frac{E_m}{E_g} = \eta$, d. i. das elektrische Güteverhältnis oder der elektrische Wirkungsgrad der Kraftübertragung.

Braucht der Generator zur Erzeugung seiner elektrischen Energie eine ihm zugeführte mechanische Leistung A, so ist das Verhältnis von $\frac{A_m}{A} = \mu$ das wirtschaftliche (ökonomische oder mechanische) Güteverhältnis oder der ökonomische Wirkungsgrad der Kraftübertragung.

Diese zuletzt abgeleiteten Ausdrücke werden wesentlich complicierter, wenn die durch magnetische und mechanische Reibung, Erwärmung etc. erzeugten Betriebsverluste, sowie die Widerstände der Maschinen und Leitungen mit in das Calcül gezogen werden müssen, wie dies bei einer genaueren Theorie der Kraftübertragung nothwendig ist.

Der Zusammenhang zwischen den bei einer Kraftübertragungsanlage vorkommenden Stromgrößen, als: der elektromotorischen Kraft der Primärmaschine, Gegenkraft des Motors und der resultierenden Stromstärke einerseits, als auch dieser drei Größen mit der geleisteten Energie, bezw. der Belastung anderseits, lässt sich nun in einfacher Weise durch folgende Betrachtungen darstellen.

Nimmt man an, dass der Motor unbelastet, also im Leerlaufe sich befindet, so wird derselbe infolge des kleinen (nur zur Überwindung der Reibungswiderstände aufzuwendenden) Krafterfordernisses eine immer größer

[1]) Die auf die Welle einer Maschine übertragene, von ihr abnehmbare Leistung pro Secunde ist: $A_m = P d \pi n$ *kg.m.sec.*, wenn P die Zugkraft, d der Durchmesser, n die Umdrehungszahl pro Secunde bedeutet.

werdende Geschwindigkeit beim Angehen annehmen, u. zw. so lange, als die elektromotorische Kraft des Generators größer ist als jene des Motors. Da nun aber die elektromotorische Kraft einer Dynamomaschine mit der Geschwindigkeit wächst, wird der Reactionsdruck oder die elektromotorische Gegenkraft E_m auch stets größer und daher die resultierende Stromstärke J sehr klein werden. Die in den beiden Ankern entwickelten, entgegengesetzt wirkenden, elektromotorischen Kräfte werden nahezu gleich groß und es würde dann gleichsam statisches Gleichgewicht eintreten; der resultierende Strom J wäre sodann fast Null.

Nimmt man jedoch anderseits an, dass der Motor so überlastet wird, dass er sich nicht zu drehen vermag (oder dass er festgehalten wird), so wird die elektromotorische Gegenkraft $E_m = O$, d. h. es wird kein Gegenstrom erzeugt und daher wird der resultierende Strom J ein Maximum, oder $J_0 = \frac{E_g}{W}$ werden. J kann nun bei dem kleinen Widerstande des Motorankers, welcher jetzt gewissermaßen einen einfachen Schließungsleiter bilden würde, so groß werden, dass die übergroße Strombelastung — infolge der hiedurch erzeugten großen Erwärmung, — den Motor gefährden kann. Man muss daher in einem solchen Momente den Stromkreis stets unterbrechen, um den Ruin des Motors zu verhüten.

Für jede andere, zwischen diesen zwei Belastungsgrenzen liegende Beanspruchung, ist aber die Arbeitsfähigkeit des Motors immer proportional dem Producte $E_m J$. Je größer diese Arbeit wird, umso langsamer muss naturgemäß der Motor laufen und umgekehrt. Im ersteren Falle wird durch Verminderung der Tourenzahl die elektromotorische Gegenkraft E_m wieder schwächer, wodurch die resultierende Stromstärke J wieder entsprechend der vermehrten Belastung zunimmt. Das Umgekehrte findet statt, wenn die Belastung kleiner wird.

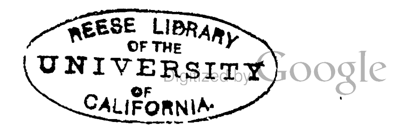
Man sieht hieraus, dass die Größe der Belastung und die Größe der resultierenden Stromintensität innig zusammenhängen. Dies kann man aus der Gleichung für P noch in der Weise ableiten, dass man schreibt:

$$P = \frac{E_m J}{v}.$$

Da nun E_m sich durch die Gleichung $E_m = f . M . v$ ausdrücken lässt, wo f die Ankerconstante, M das magnetische Moment und v die Geschwindigkeit bedeutet, M aber wieder von J abhängt, d. h. mit dieser unabänderlich verbunden ist, so lässt sich die Gleichung für die Zugkraft in die allgemeine Form $P = C . f(J)$ bringen, wo C einen constanten Factor bedeutet.

Diese Gleichung besagt sonach, dass, je größer oder kleiner die resultierende Stromstärke ist, desto größer oder kleiner die Zugkraft, und sonach auch desto kleiner oder größer die Geschwindigkeit des Motors sein wird. Da nun weiters bei einer constanten Belastung (wie sie ja gewöhnlich in der Praxis gegeben ist), die Stromstärke auch constant ist, ferner die gelieferte elektrische Energie (entsprechend dem Product $E_m . J$) stets proportional der Geschwindigkeit des Motors ist, so wird letztere stets proportional der elektromotorischen Kraft sein, und umgekehrt.

Aus der Gleichung für η ist ferner zu ersehen, dass der Wirkungsgrad proportional der elektromotorischen Kraft, und daher nach vorhergehendem, auch proportional der mit dieser im Zusammenhange stehenden Geschwindigkeit v ist.



Hinsichtlich der G e s c h w i n d i g k e i t der Motoren wäre noch zu erwähnen, dass diese von der Stromstärke und der elektromotorischen Kraft des Generators einerseits, von der Belastung anderseits abhängige Größe, nicht direct proportional der Geschwindigkeit des Generators ist, sondern dass die Motorengeschwindigkeit um so schneller zunimmt, je mehr jene des Generators wächst. Geht die Geschwindigkeit der Primärmaschine unter eine bestimmte Grenze herab, so wird der Motor sich überhaupt nicht bewegen. Je schneller aber anderseits der Motor laufen wird, umsoweniger wird Strom durch ihn fließen und umsoweniger Kraft wird er absorbieren. In Bezug auf den Wirkungsgrad ist es vortheilhaft, die Maschinen mit jener größten Geschwindigkeit laufen zu lassen, die mit der mechanischen Sicherheit noch vereinbar ist.

Schließlich zeigen die Gleichungen noch, dass eine Ä n d e r u n g d e s L e i t u n g s w i d e r s t a n d e s r (infolge größeren oder kleineren Abstandes des Generators vom Motor) eine Änderung aller Verhältnisse im Stromkreise bewirkt und damit auch den Nutzeffect ändert.

2. Die elektrischen Motoren.

Entsprechend den Stromformen kann man im allgemeinen drei Arten von Elektromotoren unterscheiden, u. zw.:

A. Gleichstrommotoren,
B. Wechselstrommotoren, und als Abart der letzteren
C. Mehrphasenstrommotoren.

Im Hinblicke auf die Verschiedenheit ihrer Ausbildung und Wirkungsweise sollen dieselben im nachfolgenden kurz beschrieben werden.

ad *A.* G l e i c h s t r o m m o t o r e n. Dieselben sind gegenwärtig die am besten studierten und zumeist in der Praxis verwendeten Motoren, die sich durch große Einfachheit auszeichnen. Sie sind Dynamo-Maschinen, welche im wesentlichen aus einer rotierenden Armatur (Ring- oder Trommelanker etc.) und einem durch Elektromagnete gebildeten Felde bestehen.

Je nach ihrer Bewicklungsart lassen sie sich analog den Generatoren untertheilen in:

a) Hauptstrommotoren, *b*) Nebenschlussmotoren, und *c*) Compoundmotoren oder Motoren mit gemischter Bewicklung.

Bei allen drei Typen muss wegen der Umkehrung des Stromes, die Neigung der Stromabnehmer oder der Bürsten am Collector entgegengesetzt jener sein, wenn diese Motoren als Generatoren gebraucht würden; desgleichen werden die Bürsten beim Motor nicht auf Voreilung, sondern auf Rückeilung gestellt. Die günstigste Bürstenstellung wird bei den Gleichstrommotoren in derselben Weise experimentell bestimmt, wie diejenige der Bürsten eines Generators, d. h. es werden die Bürsten so lange am Collectorumfange verschoben, bis die Funkenbildung minimal wird.

Alle Gleichstrommotoren mit Serienschaltung laufen als Motoren verkehrt, wie als Generatoren; eine Umkehrung der Stromrichtung im Motor bewirkt keine Umkehrung der Drehrichtung des Ankers, da durch letztere wohl die

Magnetpole ihre Polarität ändern, jedoch weder ihre Intensität, noch ihre respective Lage geändert werden. Sie sind also nicht direct umsteuerbar. Will man dies erreichen, so muss man die Stromrichtung entweder in den Feldmagneten allein, oder im Anker umkehren.

Letzteres wird in der Praxis meist angewandt, und hat man hiezu verschiedene Mittel. Man kann entweder doppelte Bürsten anwenden, welche entsprechend dem, den Motoren zu gebenden Drehsinne am Collector aufgelegt werden; oder aber Kohlenbürsten, die entsprechend dem Drehsinne des Motors am Collector verschoben werden; endlich kann man noch einen separaten Commutator anwenden, oder, z. B. bei Serienmotoren, doppelte Wicklung auf den Magnetschenkeln, von welche immer eine kurzgeschlossen wird, u. dgl. m.

Diese drei Motorengattungen zeigen infolge ihrer verschiedenen Bewicklungsart ein verschiedenes Verhalten im Betriebe. In Bezug auf ihre Verwendung in den Kraftvertheilungsnetzen können sie entweder in Hintereinanderschaltung, oder in Parallelschaltung gebraucht werden.

Bei der Hintereinanderschaltung von Serienmotoren bleibt die Zugkraft bei constanter Stromstärke auch constant; bei variabler Stromstärke nimmt sie, je nach der Charakteristik des Motors, im quadratischen Verhältnisse zur Stromstärke zu. Die Geschwindigkeit des Serienmotors ist von der elektromotorischen Kraft der Primärmaschine abhängig. Will man auf constante Geschwindigkeit regulieren, so kann dies durch mechanische Bremsung oder durch Nebenschlusswiderstände R (Fig. 493) zu den Feldmagneten E_1, oder von R_1 zur Ankerbewicklung M_2 erreicht werden. Serienmotoren gehen nur an, wenn die Last nicht zu groß ist. Man wendet diese Art der Kraftvertheilung bei kleinen und bei ganz großen Motoren, dann für Kraftübertragungen mit hochgespanntem Strome an.

Fig. 493.

Bei der Parallelschaltung von Serienmotoren, wo die elektromotorische Kraft der Primärmaschine constant ist, wird die Zugkraft am größten sein, wenn der Motor still steht, weil keine gegenelektromotorische Kraft vorhanden ist. Hiebei kann aber die Stromstärke, und insbesondere bei großer Last, eine gefährliche Größe erlangen; man muss in diesem Falle einen regulierbaren „Anlasswiderstand“ W (Fig. 494, Drahtspiralen oder Flüssigkeitswiderstände) vor den Motor M schalten, den man in dem Maße verringert, als die Geschwindigkeit und damit die Gegenkraft wächst. Auch durch einen Regulierwiderstand N, parallel zu dem Feldmagneten E kann die Stromstärke im Anker erhöht werden. Bei dieser Schaltungsart regulieren sich die Zugkraft, Geschwindigkeit und elektromotorische Gegenkraft gegenseitig (Princip der Selbstregulierung), was sehr vortheilhaft ist. Doch können große Motoren dennoch durchgehen.

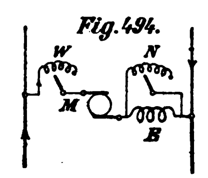


Fig. 494.

In der Praxis wendet man diese Vertheilungsart bei elektrischen Bahnen, Aufzügen etc. an, wo eine große Zugkraft entwickelt und absolut sicheres Angehen erreicht werden soll.

Nebenschlussmotoren werden wegen Nichtangehens bei Serienschaltung und unter Last nur in Parallelschaltung gebraucht. Auch hier ist die Zugkraft beim Angehen am größten. Man verwendet ebenfalls Anlasswiderstände *R* (Fig. 495), welche gewöhnlich, wie in der Figur gezeichnet, im Ankerstromkreise *A* montiert werden. *H* ist ein Hebel mit den Bürsten $b\ b_1$, wovon *b* über die Schiene *a* gleitet und den Nebenschluss *E* des Motors schließt, während b_1 über die Contactknöpfe des Widerstandes *R* gleitet. Die Schiene *a* ist so ausgebildet, dass *b* früher den Nebenschluss schließt, ehe b_1 den Ankerstromkreis. Die geringen Geschwindigkeitsänderungen bei variabler Last werden durch den veränderlichen Nebenschlusswiderstand *N* ausgeglichen.

Fig. 495.

Bei Compoundmotoren werden die Magnetbewicklungen derart aufgebracht, dass sie sich entweder unterstützen, also in derselben Richtung gewickelt sind, oder aber dass sie eine differentielle Wirkung im Felde besitzen, wie dies bei den normal gewickelten Compoundmaschinen vorkommt (Gegenschaltung). Im letzteren Falle erscheint die Tourenzahl bei variabler Belastung fast constant, während bei der ersteren Wicklungsweise eine große Anzugskraft geliefert wird.

Hinsichtlich der „Anlasswiderstände" sei schließlich noch erwähnt, dass es bei großen Motoren nothwendig ist, denselben mit Rücksicht auf den geringen Ankerwiderstand successive Strom zu geben, u. zw. etwas mehr, als der normalen Belastung entspricht. Dadurch wird erreicht, dass der Motor, bevor er sich bewegt, einerseits sicher seine normale Zugkraft äußern und belastet zum Angehen gebracht werden kann, ohne dass zu große Schwankungen in der Spannung und Stromstärke im übrigen Stromkreise entstehen, anderseits, dass die Bürsten nicht feuern.

Hinsichtlich der Eignung der Gleichstrommotoren für die Zwecke der Kraftübertragung sei Nachfolgendes noch angeführt.

Die Hauptstrommotoren haben im allgemeinen den Vortheil der großen Anzugkraft, Einfachheit der Ausführung, Selbstregulierung innerhalb bestimmter Grenzen, dann Billigkeit; sie haben jedoch den Nachtheil einer nothwendigen aufmerksamen Wartung, um das sogenannte „Durchgehen" zu vermeiden.

In dem Falle, als nur ein Generator und ein Motor vorhanden sind, kann man auch durch entsprechende Construction der Primär- und Secundärmaschine, die Tourenvariationen innerhalb des Umfanges — Leerlauf und volle Belastung, — auf nur wenige Percente reducieren. Anderseits sind manche Motoren auch so construiert worden, dass sie imstande waren, beim Angehen das Zehnfache der normalen Belastung zu geben, ohne den Motor zu beschädigen. Letztere Fähigkeit hat, insbesondere bei Motoren für Tractions- (Eisenbahn-), oder Bohrzwecke, große Wichtigkeit.

Die Nebenschlussmotoren eignen sich infolge der automatischen Regulierung der Energie, hervorgebracht durch die elektromotorische Gegenkraft, sowie durch ihr genügendes Constanthalten der Tourenzahl bei constanter Klemmenspannung, fast zu allen Zweigen der Industrie, u. zw. insbesonders zum Antriebe von Werkzeugmaschinen, Gleichstrom-Transformatoren etc. Sie

haben den einzigen Nachtheil, dass bei der Anwendung hoher Spannungen die Maschine infolge der Isolation theuer wird und die Einflüsse der Selbstinduction sich sehr geltend machen; deshalb erregt man bei sehr hoher Spannung die Feldmagnete nicht mit hoher, sondern mit niederer (z. B. in Lichtcentralen verfügbarer) Spannung. Für ganz kleine Motoren wendet man diese Type nicht an.

Die Compoundmotoren sind theurer, als die vorhergehenden, und werden selten angewendet.

ad *B.* Wechselstrommotoren. Dieselben unterscheiden sich im Principe nicht wesentlich von den Gleichstrommotoren. Man findet auch hier wieder ein magnetisches Feld und einen Anker, die sich gegeneinander drehen; während aber das magnetische Feld bei den Gleichstrommaschinen stets constant ist, ist jenes bei den Wechselstrommotoren verschieden, u. zw. entweder constant, oscillierend oder drehend.

Nach dieser Art der Magneterregung kann man daher auch die Wechselstrommotoren eintheilen:

a) In solche mit constantem, magnetischen Felde oder „synchrone Motoren". Hiezu gehören die Magnet-, und Dynamo-Maschinen mit separater Erregung, oder mit Selbsterregung durch Gleichstrom;

b) in Motoren mit oscillierendem Felde (Dynamo-, Hauptschluss- und Nebenschlussmotoren, wie für Gleichstrom aber mit Blättermagneten, elektrodynamische Motoren), welche jedoch in der Praxis sich wenig eingebürgert haben, und

c) in solche mit rotierendem Felde. Zu letzteren werden gerechnet gewöhnliche Wechselstrommaschinen mit Zweiphasenstrom, dann Wechselstrommaschinen mit Mehrphasenstrom. Diese Motoren heißen auch „Drehstrommotoren". Dieselben werden unter *C.* besprochen werden.

Die Entwicklung der Wechselstrommotoren ist umsomehr von Interesse, als diese in Verbindung mit den Wechsel- und Drehstrom-Transformatoren die Hauptstützen des Systems der elektrischen Kraftübertragung auf große Distanzen bilden. Alle Wechselstrommotoren sind gleich den Gleichstrommotoren umsteuerbar.

ad *a*) Die Wechselstrommotoren mit constantem Felde.

Diese sind die am frühesten versuchte Art von Wechselstrommotoren. Sie sind gewöhnliche Wechselstrommaschinen, welche dieselbe Beschaffenheit wie die Generatoren haben. Der vom Generator kommende Wechselstrom wird in eine Wechselstrommaschine geleitet, welche zuerst in Leerlauf gesetzt werden muss, und bei welcher in dem Momente der Erreichung des synchronen Laufes sodann der Primärstrom eingeführt wird. Bei der Bewegung eines solchen Motors passieren nämlich die Spulen der Armatur eine Reihe von Positionen vor den Magnetpolen, für welche die Wirkung des Wechselstromes auf das Feld die Rotation begünstigt oder hemmt. Sobald die Summe der günstigen Wirkungen größer als die Summe der ungünstigen Reactionen ist, wird der Motor eine continuierliche Drehung annehmen, deren Geschwindigkeit abhängig ist von der Periode und Wechselzahl des primären Wechselstromes.

Gehen die Spulen des Generators und des Motors gleichzeitig oder „synchron" vor den Elektromagnetpolen vorbei, dann fallen die Polwechsel beider Maschinen zusammen und dann erst kann der Motor Arbeit leisten.

Stehen jedoch die Spulen des Motors in der Mitte zweier Pole, während in demselben Augenblick jene des Generators vor den Elektromagnetpolen sich befinden, so bleibt der Wechselstrommotor stehen. Zwischen diesen beiden gleichzeitigen Lagen schwankt also die Arbeitsleistung des Motors. Bleibt der Motor mit seinen Polwechseln nur wenig hinter jenen des Generators zurück, so dass er sonach „asynchron“ wird, so sinkt sofort seine Leistung, u. zw. erheblich, da von der Mitte zwischen zwei Polen bis zu einem Pole nur ein kleiner Weg ist.

Der gewöhnliche Wechselstrommotor muss daher, um Arbeit leisten zu können, immer synchron laufen. Als solcher arbeitet er aber nicht, wie ein Gleichstrommotor, mit einer continuierlich wirkenden Kraft oder mit einem continuierlichen Drehmomente, sondern er wird durch wechselnde Stromstöße oder Impulse bewegt, deren Zahl in dem treibenden Wechselstrome selbst fixiert ist. Diese Impulse folgen jedoch so rasch hintereinander, dass die resultierende Wirkung wieder continuierlich sein wird. Soviele Impulse also bei der Erzeugung des elektrischen Stromes entstehen, ebensoviele Impulse mit bestimmter Winkelbewegung wirken auf den Elektromotor [1]).

Die den gewöhnlichen Wechselstrommotoren anhaftende Eigenschaft des Synchronismus hat in Bezug auf die Regelmäßigkeit des Ganges, sowie auf die vollkommene Gleichmäßigkeit der Geschwindigkeit, was für gewisse Betriebszwecke von großem Werte ist, sehr bedeutende Vortheile. Sie hat aber auch ihre Nachtheile, wie z. B. beim Betriebe von Kleinmotoren oder in solchen Fällen, in denen eine veränderliche Geschwindigkeit nothwendig ist, weil dann entweder besondere Mechanismen angebracht werden müssen, um die Verschiedenheit der Vorgelege herzustellen, oder solche Motoren überhaupt nicht verwendet werden können, wie dies z. B. für Tractionszwecke bei elektrischen Bahnen der Fall ist. Für diese ist heute noch ausschließlich der Gleichstrommotor in Verwendung. Indes sind die Bemühungen der Elektriker neuerer Zeit darauf gerichtet, solche Wechselstrommotoren herzustellen, welche die wünschenswerte Eigenschaft besitzen sollen, mit verschiedener Geschwindigkeit functionieren zu können. Solche Elektromotoren nennt man „asynchrone Motoren“.

Wird ein Wechselstrommotor stärker belastet als seiner Leistung entspricht, so wird er langsamer laufen müssen, und es tritt der Asynchronismus auf; die Polwechsel können nicht mehr gleichzeitig mit dem Generator erfolgen und der Motor wird gerade unter einer solchen Belastung weniger stark wirken; er fällt schließlich aus der Phase und bleibt in kurzer Zeit endlich ganz stehen.

Ist anderseits ein Wechselstrommotor im Leerlaufe und es wirkt aus irgend welcher Ursache eine Kraft auf ihn ein, welche seine Bewegung zu beschleunigen trachtet, so wird er selbst Generator, und wirkt — im Falle

---

[1]) Beispielsweise haben die Wechselströme der Wiener Centralstation der internationalen Elektricitäts-Gesellschaft pro Minute 5.000 Richtungswechsel, d. h. 5.000 Impulse, und müssen demzufolge alle Elektromotoren, welche aus dem Kabelnetze dieser Gesellschaft gespeist werden, so functionieren, dass jedes magnetische Feld 5.000mal in der Minute von Spule zu Spule sich bewegt. Weil nun bei den gebräuchlichen Elektromotoren die Anzahl der Spulen mit jenen der magnetischen Felder übereinstimmt, so wird jeder Elektromotor $\frac{5.000}{n}$ Umdrehungen pro Minute machen, wenn n die Anzahl der magnetischen Felder oder Spulen des Elektromotors bedeutet. Ein Elektromotor z. B. mit sechs magnetischen Feldern wird nach obiger Formel 833 Umdrehungen pro Minute machen müssen.

eines Kraftvertheilungssystems mit Nebeneinanderschaltung — mit, den Strom im Stromkreise zu vergrößern.

Diese Motorengattung, welche den Vortheil hat, wirkliche Geschwindigkeits-Regulatoren zu sein und welche bei guter Construction 80 Procent Güteverhältnis erreicht, hat bereits vielfach Anwendung bei Kraftübertragungen gefunden. Die Wechselstrommotoren haben aber den Nachtheil, dass sie nicht unter Belastung angehen können, sondern dass sie durch äußere Hilfe in Leerlauf gebracht werden müssen (ähnlich einem Gas- oder Petroleummotor); ferner darf der Widerstand oder die Last, gewisse Grenzen nicht überschreiten, damit der Motorgang nicht verzögert wird, wodurch der Motor zum Stehen gebracht werden kann. In diesem letzteren Falle wird auch hier, weil die elektromotorische Gegenkraft Null wird, der resultierende Strom eine für den Bestand der Maschine gefährliche Größe erreichen können, und man muss daher diese Motoren mit einer Vorrichtung versehen, welche sie automatisch ausrückt, sobald die Last zu groß wird, und nachher den Motoren gestattet, sich synchron wieder weiter zu drehen.

Will man die Drehrichtung von Wechselstrom-Motoren umkehren, so braucht man nur den Motor verkehrt anlaufen zu lassen.

In Bezug auf die constructive Ausbildung solcher Motoren sei erwähnt, dass z. B. die Motoren der Firma Siemens & Halske genau dieselbe Anordnung haben, wie die später beschriebenen Drehstrommotoren, mit dem Unterschiede, dass die Wicklung auf dem feststehenden Anker eine Eisenphasenstrom-Wicklung ist. Die Leistungsfähigkeit ist um etwa 33% geringer als jene der gleich großen Drehstrommotoren.

ad *C.* Die Motoren mit rotierendem Felde oder die Drehstrommotoren. Seite 170 wurde bereits das Princip des Drehfeldes erörtert und Seite 173 die Definition eines Drehstrommotors gegeben.

Anschließend an die Seite 172 dargestellte Wirkung des Drehfeldes ist noch Folgendes zu bemerken:

Würde der in Fig. 255 dargestellte Cylinder *Z* mit gleicher Winkelgeschwindigkeit wie das Feld rotieren, so wäre es gerade so, als ob Feld und Wicklung in Ruhe sich befänden, und es würde folglich, da kein Inductionsstrom, auch kein Drehmoment entstehen. Da aber auch bei unbelasteter Maschine, die Achsenreibung, Luftwiderstand etc. ein Drehmoment erfordern, wird sich der Cylinder (oder die Armatur) immer mit einer kleineren Winkelgeschwindigkeit drehen, als das Feld. Dieser Unterschied der Winkelgeschwindigkeiten wird umso größer sein, je belasteter der Cylinder oder die Armatur ist, d. h. ein je größeres Drehmoment er für die äußere Arbeitsleistung zu liefern hat.

Nach dem Seite 170 erläuterten Principe lassen sich höchst einfache, asynchrone Elektromotoren ohne jeden Schleifcontact und ohne Bürsten bauen, was namentlich für jene Verwendungen vortheilhaft ist, wo solche Motoren, wie z B. in den Bergwerken mit schlagenden Wettern, Pulverfabriken, Laboratorien etc., ohne Funkenbildung arbeiten sollen.

Man kann nun je nach der Erzeugung des rotierenden Feldes die Drehstrommotoren verschieden eintheilen. Man kann

a) Zweiphasen-, *b*) Mehrphasenstrommotoren, dann solche *c*) mit einfachem und *d*) mit mehrfachem Drehfelde, ferner *e*) synchrone und asynchrone Drehstrommotoren unterscheiden.

Beim Zweiphasen-Systeme werden zwei, in der Phase um 90° verschiedene Wechselströme angewendet. Zur Erzeugung dieser zwei Wechselströme kann eine gewöhnliche Wechselstrommaschine benützt werden, wo dann durch entsprechende Hilfsmittel (Inductionsspulen mit verschiedener Selbstinduction, oder Inductionsspule und Condensator) diese zwei Wechselströme gebildet werden können; oder aber man kann einen Generator verwenden, welcher direct die zwei erforderlichen Wechselströme liefert. Im letzteren Falle kann man statt vier, nur drei Leitungen (eine als gemeinschaftliche Rückleitung) anwenden.

Beim Mehrphasen-Systeme werden nach Seite 174 mehrere um einen Bruchtheil einer Periode gegeneinander verschobene Wechselströme in den Motor geleitet, um dort ein rotierendes Feld zu erzeugen.

Die Type *a*) ist die ältere, und es gehören hieher die Elektromotoren von Tesla, Hutin & Leblanc, Ferraris u. a. m.

Die Type *b*) ist die neuere, und umfasst hauptsächlichst die Motoren von Brown, Dolivo-Dobrowolsky, Haselwander, Siemens & Halske u. a. m.

Man kann weiters Zweiphasenmotoren auch als synchron laufende gestalten, d. h. als Motoren, wo die bewegliche Armatur mit derselben Geschwindigkeit, wie das Magnetfeld, sich dreht. (Z. B. Typ Tesla.) Doch können solche Motoren ebenfalls nur mit einem Bruchtheile ihrer Zugkraft unter Last angehen, und sie bleiben unter Überlastung, wie die synchronen Wechselstrommotoren, stehen. Man hat ferner versucht, asynchrone Zweiphasenmotoren mit mehrfachem Drehfelde zu erzeugen, wodurch der Vortheil erreicht wird, dass der Magnetpol langsamer im Drehfelde sich bewegt als beim einfachen Zweiphasenmotor; hiedurch ist es möglich, eine höhere Wechselzahl und eine kleinere Rotationsgeschwindigkeit der Armaturen anzuwenden.

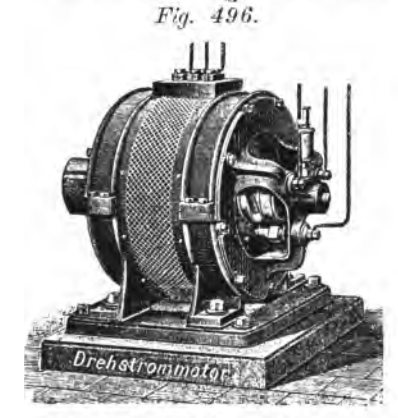
Im allgemeinen eignen sich aber Zweiphasenmotoren nur zur Vertheilung geringer oder mittlerer Kräfte (etwa bis zu 15 HP), da sie in praxi ein Drehfeld haben, welches in seiner Intensität etwas stärker, wie beim Dreiphasenmotor, variiert.

Für die Übertragung größerer Kräfte mittels Wechselstromes nimmt man meist Dreiphasenmotoren und schaltet diese nach den Figuren 412 und 413 entweder in Stern-, oder in Dreiecksanordnung an die drei Hauptleiter l_1 l_2 l_3 eines Drehstromsystems. Die Dreiphasenmotoren sind asynchrone Motoren (Typ Brown, Siemens & Halske etc.), welche gegenüber den Zweiphasenmotoren den Vortheil eines constanten Drehfeldes besitzen, und somit viel weniger Tourenschwankungen zwischen Leerlauf und Vollbelastung, sonach einen gleichmäßigeren Gang zulassen, als dies bei den Zweiphasenmotoren möglich ist. Letztere gehen infolge der Pulsationen des magnetischen Feldes unter Last schlecht an und die Zugkraft nimmt bei einer gewissen Belastungsgrenze rapid ab. Diese Motoren besitzen zudem den Vortheil der Transformation der Mehrphasenströme auf hohe Spannung.

In Bezug auf die constructive Ausführung besitzen z. B. die Drehstrommotoren der Firma Siemens & Halske einen feststehenden, mit Wicklung versehenen Eisenring und einen in seinem Innern rotierenden Eisenkern, dessen Wicklung in drei Enden zu drei Schleifringen führt. Der

Betriebsstrom wird in die Wicklung des äußeren Ringes geführt, die Bürsten auf den Schleifringen des inneren Kernes führen zu den drei mit einander verbundenen Gruppen eines „Anlasswiderstandes“, mit dessen Hilfe der Motor unter voller Belastung in Betrieb gesetzt werden kann. Hiezu wird nach Einschaltung des primären Stromes mittels dreipoliger Ausschalter, der Widerstand der Anlassvorrichtung langsam und stufenweise aus den Stromkreisen des inneren Kernes herausgenommen. Kleine Motoren können ohne Anlassvorrichtung benützt werden. Die Motoren der genannten Firma entwickeln beim Angehen eine Zugkraft, welche das Dreifache der normalen überschreitet. Die Tourenzahl nimmt bei Vollbelastung um 2 bis 3% gegenüber jener bei Leerlauf ab. Durch Vertauschen zweier Stromführungen mittels einer Umsteuervorrichtung kann man die Motoren ohne Störung in entgegengesetzter Richtung laufen lassen. Durch Gegenstrom lassen sie sich fast momentan zum Stehen bringen. Der Wirkungsgrad beträgt etwa 85%. Die Stromstärke beim Leerlauf ist etwa $^1/_3$ bis $^1/_2$ jener bei Vollbelastung. Der Cosinus der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung beträgt etwa 0·7 bis 0·8. Für kurze Zeit können die Motoren auch mit doppelter Belastung laufen. Sie werden für 50 Perioden in der Secunde und für eine Betriebsspannung von 110 bis 120 Volt gebaut. Mit der Periodenzahl ändert sich selbstverständlich die Tourenzahl.

Fig. 496.



3. Vergleich der Motorgattungen.

Aus den vorangegangenen Erläuterungen über die verschiedenen Motorgattungen resultieren für dieselben auch verschiedene, ihre Verwendungsfähigkeit tangierende Vorzüge und Nachtheile.

Der Gleichstrommotor hat den Vortheil, dass er unter Belastung sich sofort in Bewegung setzen und oft beträchtliche Überlastungen ertragen kann, ohne aufzuhören zu functionieren. Dagegen bildet die Anwendung der vieltheiligen Collectoren und der Bürsten, namentlich bei Anwendung hoher Spannungen, einen Nachtheil dieser Motorengattung.

Die Wechselstrommotoren haben den Vortheil einfache, die Drehstrommotoren jenen, gar keine Collectoren zu besitzen. Durch die Anwendung von ruhenden Transformatoren kann man ferner die Spannung im Motor ganz ungefährlich machen, indem man in Kraftübertragungsanlagen mit Wechsel- oder Drehstrom, Maschinen mit kleiner Spannung und großer Stromstärke gebrauchen kann, wodurch die Manipulation bei den Maschinen und Motoren ohne Gefahr und leicht durchzuführen ist. Anderseits liefern synchrone Wechselstrommotoren eine nahezu absolute Regulierung der Geschwindigkeit.

Im Vergleiche zu den Gleichstrommotoren haben jedoch die gewöhnlichen Wechselstrommotoren den Nachtheil, dass sie nicht momentan angehen, unbelastet in Gang gebracht werden müssen, und dass sie aus der Phase fallen,

wenn die Belastung das Normale überschreitet.. Eine weitere Ursache ihrer Inferiorität liegt in ihrem Wesen selbst. Ist nämlich E_0 die maximale elektromotorische Kraft, und J_0 die maximale Stromstärke, so ist die mittlere Leistung des Wechselstrommotors $P = \frac{E_0 J_0}{2} \cos \varphi = E J$, wenn φ die Verzögerung der Phase und E, J die elektromotorische Kraft und Stromstärke des Gleichstromes bedeuten.

Bei gleicher Leistung und gleicher Spannung wird nach obiger Gleichung $J_0 > J$ werden müssen, was wieder dickere Drähte in der Maschine und in der Zuleitung, und sonach constructiv größere und etwas theuere Wechselstrommotoren als Gleichstrommotoren, erfordert.

In Bezug auf den Wirkungsgrad ist jedoch — bei Berücksichtigung der vollen Belastung, — kein wesentlicher Unterschied zwischen Gleich- und Wechselstrommotoren vorhanden.

Die Drehstrommotoren laufen gleich den Gleichstrommotoren ebenfalls mit voller Last an und bleiben bei Überlastungen infolge ihres Asynchronismus niemals stehen; es findet bei erheblicher Zunahme der Zugkraft nur eine geringe Abnahme der Geschwindigkeit statt.

Da der Mechanismus des Drehstrommotors nur aus einer umlaufenden Achse ohne hin- und hergehende Elemente besteht, ist die Handhabung die einfachste, und die erreichbare Sicherheit die größte. Dies hat namentlich für kleine Motoren, wie sie in der Industrie am meisten gebraucht werden, einen besonderen Wert. Drehstrommotoren gestatten die Anwendung hoher Spannungen unter Zuschaltung von Transformatoren, besitzen genügende Regulierfähigkeit (durch Zuschaltung von Regulierwiderständen), und haben gegenüber den gewöhnlichen Wechselstrommotoren den Vorzug geringerer Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung. Sie gestatten, verhältnismäßig schwache Leitungen zu gebrauchen, und dürften sich demnach namentlich zur Kraftvertheilung in großen Vertheilungsbezirken eignen, wo sie gestatten, Kraftübertragungen, welche bisher nur mit Gleichstrom übertragbar ausgeführt worden sind, gegenwärtig mit etwas höheren Kosten gefahrlos auszuführen.

Als Nachtheil der Drehstrommotoren kann die Verwendung mehrerer Leiter, bezw. die hiedurch bedingte vermehrte Isolation bezeichnet werden.

4. Anwendung der elektrischen Kraftübertragung.

Hinsichtlich der Erörterung der Anwendungsfähigkeit der elektrischen Kraftübertragung lassen sich im allgemeinen zwei Fragen aufstellen, u. zw.:

a) Wo kann man eine elektrische Kraftübertragung zweckmäßig verwenden und *b*) wann wird man sie anwenden.

ad *a*) Die Beantwortung der ersten Frage hängt mehr oder minder von den Vorzügen ab, welche der elektrischen Kraftübertragung gegenüber den anderen mechanischen Übertragungsarten eigen sind. In dieser Hinsicht hat die elektrische Kraftübertragung den anderen Übertragungsarten Vieles voraus.

Die Elektricität hat vor allem den Vorzug, äußerst leicht übertragbar zu sein, da man ihre Richtung und Intensität mit der größten Leichtigkeit

ändern kann; zudem erfährt der Elektricitätsleiter keine Verunreinigung, keine besondere Erwärmung und keine Bewegung.

Man kann den Leiter biegen und führen wie man will, während er viele hundert Pferdekräfte fortzuleiten imstande ist. Da der Elektricitätsleiter nicht schwer ist und wenig Raum einnimmt, so lässt er sich auch leicht befestigen. Es entsteht bei der elektrischen Kraftübertragung kein Geruch, kein Geräusch, kein Schmutz, und außerdem braucht man sehr wenig Wartung für den Apparat. Die zu übertragende Kraft ist stets unter Controle und kann jeder wünschenswerten Verwendung angepasst werden. Da man je nach Wahl beliebig viele Motoren arbeiten lassen kann, so wird auch keine Energie verschwendet. Überdies hat man bei der elektrischen Kraftübertragung den Vorzug eines großen Wirkungsgrades, der selte nunter 75% ist, d. h. man bekommt von der zum Betriebe der Maschinen aufgewendeten, mechanischen Arbeit fast immer mehr als 75% wieder in Form von Elektricität heraus.

Aus den vorgeschilderten Vorzügen ersieht man schon, dass das Anwendungsgebiet der Elektricität für motorische Zwecke ein umfassendes sein kann. Man kann sagen, dass die Elektricität sich nahezu für jede Art des Kraftantriebes, u. zw. insbesondere dort eignet, wo eine rotierende Bewegung erzielt werden soll.

In der Praxis findet man heutzutage die elektrische Kraftübertragung nicht nur in den gewerblichen Fabriks-Etablissements der verschiedensten Industriezweige (wie z. B. in Kanonengießereien, Eisenwerken u. dgl. m.) angewendet, sondern auch im Berg- und Tunnelbau, auf Werften und bei Tractionsanstalten. Man kann mittels Elekricität die kleinsten und größten Gegenstände bewegen. Für militärische Zwecke werden elektrische Kraftübertragungsanlagen meist dort ökonomisch sich verwerten lassen, wo Militär-Etablissements eine elektrische Beleuchtung besitzen, wo also die hiefür vorhandene Kraft der Beleuchtungsanlagen für den motorischen Tagbetrieb ausgenützt werden kann. Dies wäre z. B. in den verschiedenen Werkstätten der Land- und See-Arsenale, der Gewehr- und Geschützfabriken, ferner bei Pulverfabriken, Hauptlaboratorien u. dgl. m. der Fall.

In fortificatorischen Objecten ergibt sich eine mögliche Anwendung der elektrischen Kraftübertragung vorwiegend nur dort, wo elektrsiche Beleuchtungsapparate stabil in Werken — also bei Küsten- und bei Gebirgsbefestigungen, — eingebaut sind. Bei der Kriegsmarine hat hingegen die elektrische Kraftübertragung eine wesentlich erweiterte Anwendung gefunden, zumal der Hauptnachtheil für die Anwendung der Elektromotoren auf Kriegsschiffen, — d. i. der Einfluss des Seewassers, — heute durch Benützung entsprechend gewählter Isolationen, Vermeidung der Bürsten u. dgl. m. fast ganz paralysiert werden kann. Versuche, welche in dieser Richtung gemacht worden sind, haben gezeigt, dass Elektromotoren, welche mehrere Tage lang unter Wasser gesetzt worden waren, nach oberflächlicher Reinigung direct zur Arbeitsleistung verwendet werden konnten und hiebei noch Überlastungen vertragen haben [1]).

[1]) In neuerer Zeit verwendet man Elektromotoren zum Betriebe von Geschützen, Munitionsaufzügen, elektrisch betriebenen Projectoren u. dgl. m., welche vollkommen entsprochen haben. Die Elektromotoren, welche am zweckmäßigsten als langsam laufende gebaut werden, übertragen die durch sie erzeugten Anzugkräfte mittels Schnecken- und Zahnrädern auf die Drehvorrichtung der Lafette, der Winden-

ad *b*) Betreff der zweiten Frage, nämlich: wann wird man eine elektrische Kraftübertragung anwenden, kann die Antwort nur aus dem ökonomischen Vergleiche mit den anderen möglichen Kraftübertragungen gefolgert werden.

Im allgemeinen kann man sagen, dass (abgesehen von der Übertragung auf kleine Distanzen) die Anlage einer elektrischen Kraftübertragung, im Hinblicke auf den doppelten Energieumsatz nur dann sich empfehlen wird, wenn von einem Punkte aus eine billige Naturkraft, in der Regel also eine Wasserkraft, z. B. ein Wasserfall etc., ausgenützt werden kann.

Solche billige Naturkräfte werden zumeist nur an solchen Punkten gefasst und ausgenützt werden können, an welchen die Anlage von Fabriks-Etablissements nicht zweckmäßig oder unthunlich ist. Solche Naturkräfte befinden sich nämlich zumeist in Schluchten und Thälern höherer Gebirgsgegenden, also an Stellen, wo die Zufuhr des Rohmaterials und die Abfuhr des Fabrikates große Schwierigkeiten bereitet und wo auch die Arbeitskräfte nicht leicht zu beschaffen und unterzubringen sind. Man ist daher genöthigt, für die Fabriksanlagen selbst immer die Nähe bewohnter Orte zu wählen.

Aus diesem Grunde wird die elektrische Kraftübertragung in den meisten Fällen auf große Entfernungen angelegt werden müssen. Große Entfernungen bedingen aber einen großen Leitungswiderstand und erfordern dementsprechend entweder große Leitungsquerschnitte der Zuleitungen — also dicke Kabel, — oder aber großen Druck (große Spannungen), um die Elektricität auf große Entfernungen fortzuleiten.

Man kann daher sagen, dass die elektrische Kraftübertragung für sich allein erst ihre Bedeutung seit jenem Zeitpunkte erlangt hat, als man imstande war, Ströme von hoher Spannung herzustellen.

Die Übertragung elektrischer Energien auf größere Entfernung, z. B. in Entfernungen von vielen Kilometern, ist bei niederer Spannung finanziell und ökonomisch einfach unmöglich, u. zw. wegen der außerordentlich starken Dimensionen, welche die Kupferleitungen haben müssten und sonach wegen der Kostspieligkeit der Anlage, weiters wegen den bedeutenden Verlusten an Kraft in diesen Leitungen, welche wieder auf die Ökonomie der Anlage und des Betriebes zurückwirken.

Zur Illustration des Vorangeführten sei hier ein einfaches Beispiel angeführt: Es sei eine Energie von 200 HP auf eine Entfernung von 180 *km* fortzuleiten und in dieser Leitung soll ein Verlust von höchstens 10% der aufgewendeten Energie stattfinden.

Zur Lösung dieser Aufgabe müssen insbesondere zwei Factoren bestimmt werden, u. zw.: α) der nothwendige Druck oder die Spannung, und β) der Kupferquerschnitt der Fernleitung.

---

trommel u. s. w. Um den Geschützen eine verschiedene Seitenrichtung geben zu können, sind Umsteuervorrichtungen (Commutatoren) nothwendig. Ferner müssen zur Regulierung der Geschwindigkeiten entsprechende Reguliervorrichtungen (meist Widerstände) eingebaut werden, und überdies sind Bremsvorrichtungen (mechanischer und elektrischer Art) nothwendig, um das in Bewegung befindliche Geschütz rasch zum Stillstande zu bringen. Da nebst dem elektrischen Betriebe auch noch jener von Hand aus, der Sicherheit wegen, eingeführt bleiben muss, so erfordern derartige Kraftübertragungsanlagen schon ziemlich complicierte Einrichtungen.

Um den Einfluss dieser zwei Factoren zu zeigen, diene die folgende Tabelle, in welcher *e* die Spannung, *R* den Durchmesser des Leitungskabels und *p* den Gesammtpreis der Leitung bei den verschiedenen Spannungen bedeutet.

Sonach würde für:

e =	*R* =	*p* =
100 Volt	1.400*mm*	4.320,000.000 fl.
400 „	340 „	360,000.000 „
1.000 „	140 „	43,000.000 „
2.000 „	70 „	10,000.000 „
4.000 „	34 „	2,700.000 „
10.000 „	14 „	433.000 „
27.000 „	4·5 „	58.000 „

betragen.

Man ersieht aus den Zahlen sofort, dass eine Übertragung auf eine so große Distanz (180*km*) nur durchgeführt werden kann, wenn man imstande ist, hohe Spannungen anzuwenden, weil mit der wachsenden Größe der angewendeten Spannung der Querschnitt der Kupferkabel sinkt und damit auch der Preis der gesammten Fernleitung sich wesentlich verringert. Es handelt sich daher bei der elektrischen Kraftübertragung hauptsächlich nur um die Frage der Spannung oder des elektrischen Druckes.

Mit der Lösung derselben ist dann auch die Frage gelöst, wie weit man eine Energie praktisch und ökonomisch übertragen kann, welche Frage jedoch immer der Rechenstift entscheiden wird.

Die Frage der hohen Spannung hängt in erster Linie jedoch wieder von der technischen Ausführbarkeit der hiefür nothwendigen Leitungs-Isolation ab. Bis vor wenigen Jahren wurde ausschließlich Gleichstrom für Kraftübertragungszwecke benützt, u. zw. deswegen, weil Elektromotoren nur mit solchem Strome betrieben werden konnten.

Dieser Umstand war aber ein wesentliches Hindernis für die Entwicklung der Kraftübertragung auf große Entfernungen, weil die Gleichstrommotoren wegen der Anwendung subtiler Stromsammler oder Collectoren für bedeutende Spannungen nicht dauerhaft und solid hergestellt werden können. Die Spannung, mit welcher Gleichstrommaschinen praktisch noch verwendet werden können, beträgt im Maximum 1.200 bis 1.500 Volt; womit auch die Übertragungsfähigkeit des Gleichstromes (1 bis 2 Generatoren vorausgesetzt), auf eine Entfernung von 3 bis höchstens 10*km* eingeschränkt ist.

Zur Herstellung hochgespannter Ströme eignen sich unvergleichlich besser die Wechsel- oder die Drehstrommaschine, u. zw. weil die bezüglichen Maschinen keinen Collector besitzen und weil durch die Anwendung der ruhenden Transformation oder Umformung der Ströme fast beliebig hohe Spannungen sich erreichen lassen.

Wechselstrommaschinen können praktisch bis zu 4.000 oder 6.000 Volt Klemmenspannung gebaut werden. Die Deptforder Anlage in England z. B. liefert bei Hintereinanderschaltung zweier Wechselstrommaschinen Ströme bis zu 10.000 Volt und bei der Lauffen-Frankfurter Kraftübertragungsanlage ist es gelungen, Betriebsspannungen bis zu 25.000 Volt, ja vorübergehend selbst bis zu 30.000 Volt zu erreichen.

Die dem Wechsel- und Drehstrome eigenthümliche Transformation nieder gespannter Ströme auf hochgespannte (oder umgekehrt), ist nun ein wesentlicher Vorzug derselben, da es hiedurch möglich ist, rentabel, d. h. durch dünne Drahtleitungen den hochgespannten Strom auf sehr große Entfernungen in die Nähe der Consumstellen zu führen und dort wieder in nieder gespannten Verbrauchsstrom umzuwandeln und damit die Elektromotoren zu bedienen.

Man ist durch diese letztere Transformation aber auch im Stande, die Gefahren, welche hochgespannte Ströme mit sich bringen, zu umgehen. Diese sind nämlich bei wachsender Spannung nicht unbedeutend. Während Menschen imstande sind, Gleichstromspannungen bis zu 250 Volt ganz gut auszuhalten, wird Wechselstrom schon bei 130 bis 150 Volt nicht mehr gut vertragen. Mit Spannungen von 1.800 bis 2.000 Volt werden in Amerika die Verbrecher legal ins Jenseits gebracht. Spannungen von 20.000 bis 30.000 Volt können daher (insbesondere bei Wechselströmen, die unvergleichlich viel kräftigere, physiologische Wirkungen auszuüben vermögen als Gleichströme) schon ganz gefährlich für lebende Organismen werden. Dadurch aber, dass man sich des vorerwähnten Mittels der Transformation in der Weise bedient, dass man den Erzeuger- und Verbrauchstrom mit niederer, den Fortführungsstrom aber mit hoher Spannung ausstattet, lassen sich die ökonomischen Vortheile der hohen Spannung mit der Sicherheit und Bequemlichkeit der niederen Spannung vereinigen.

In Bezug auf das Erreichen von hohen Spannungen sind der Wechsel- und Drehstrom gleich.

Aus dem Vorangeführten erhellt aber weiters, dass die Anwendungsfähigkeit der elektrischen Kraftübertragung beim Wechsel- und Drehstrome ökonomisch auf noch größere Entfernungen als mit dem Gleichstrome sich erweitern lässt. Mit Wechselstrom ohne Transformation kann man zulässig noch auf (höchstens) 20*km*, mit dem Dreh- und Wechselstrome bei Transformation auf 50, oder wie in Frankfurt, selbst auf 180*km* gehen. Diese Grenze dürfte man aber überhaupt bei solchen Anlagen nicht überschreiten, da die Leitungskosten doch schon zu groß und damit die Anlage finanziell unmöglich wird.

5. Berechnung elektrischer Kraftübertragungen.

Nach den in der Praxis vorkommenden Verhältnissen ergeben sich hauptsächlich zwei Fälle der Berechnung reiner Kraftübertragungen:

a) in einem gegebenen Falle soll von der verfügbaren Kraft in der Primärstation möglichst viel an die Verwendungsstelle gebracht werden, oder

b) es wird ein bestimmtes Kraftquantum an der Verwendungsstelle (d. i. in der Secundärstation) gefordert, und es soll darnach die verfügbare Primärkraft ökonomisch ausgenützt werden.

Im Falle *a*) ist also die Primär-, im Falle *b*) ist die Secundärdynamo gewissermaßen als Basis gegeben, wonach die Größe der Secundär-, bezw. der Primärmaschine gesucht wird.

Bei dem directen Betriebe wird man — basiert auf das meist bekannte Güteverhältnis der elektrischen Maschinen und unter Rücksichtnahme auf die Ermittlung des günstigsten Leitungsquerschnittes, — für die verschiedenen Formen der elektrischen Kraftübertragungssysteme (ob Gleich-, Wechsel- oder Drehstrom) die Kosten einer solchen Anlage zu bestimmen

trachten und jenes System als anwendbar projectieren, welches die geringsten Installationskosten ergibt.

Für den indirecten Betrieb wird jedoch die Rechnung etwas complicierter, da hier durch die Anwendung der Transformation ein doppeltes Güteverhältnis resultiert. Doch lässt sich auch hier derselbe Vorgang, wie vor, einhalten.

Beispiel. Es sollen $A_1 = 50$ HP einer verfügbaren Wasserkraft auf eine Strecke $10 km$, mit Hilfe von Gleichstrom und unter Anwendung zweier Serienmaschinen, übertragen werden. Hiebei sei angenommen, dass die Primärmaschine die maximal zulässige Spannung $E = 1.500$ Volt besitze, der Spannungsverlust e der projectierten Luftleitung höchstens 10%, und der Preis der Kupferleitung loco mit $c_p = 1$ fl. pro Kilogramm, jener für eine Pferdekraft pro Jahr 100 fl. betrage. Ferner werde das elektrische Güteverhältnis für die Primärmaschine $n_1 = 94\%$, für die Secundärmaschine $n_2 = 92\%$ angenommen.

Nach Vorstehendem ist also gegeben:

$A_1 = 50$ HP, $E_1 = 1.500$ V., $n_1 = 0{\cdot}94$, $e = 150$ V., $n_2 = 0{\cdot}92$; $C_p = 1$ fl., HP.$h = 5$ kr., $L = 2 \times 10.000 = 20.000 m$.

Sonach ist die von der Primärdynamo gelieferte Arbeit:

$$A_1 = 50 \times 736 \times 0{\cdot}94 = 34.600 \text{ Watt},$$

und die hieraus resultierende Stromstärke $J = \frac{34.600}{1.500} = 23$ Ampère.

Nach den Tabellen von Forbes über die ökonomische Bestimmung von Leitungsquerschnitten findet man z. B., dass bei obigem Kupferpreise und dem Preise pro Pferdekraft, ein Leitungsquerschnitt von $1{\cdot}9 cm^2$ für 100 Ampère entspricht; sonach für 23 Ampère ein Querschnitt von

$$\frac{1{\cdot}9 \times 23}{100} = 0{\cdot}437 cm^2$$

oder ein Durchmesser von $0{\cdot}75 cm$. Dies ergibt bei $2 \times 10 km$ Leitungslänge einen Widerstand von ungefähr $7{\cdot}2\,\Omega$.

Bei 150 Volt Spannungsverlust müsste aber der Leitungswiderstand $\frac{150}{23} = 6{\cdot}5\,\Omega$ resultieren; es muss daher bei Festhaltung dieses Spannungsverlustes der Leitungsquerschnitt etwas größer genommen werden. ($0{\cdot}53 cm^2$.)

Ist nun approximativ $w_1 = 7{\cdot}5\,\Omega$ der Widerstand der Primär-, $w_2 = 7\,\Omega$ der Widerstand der Secundärmaschine, so ist der Gesammtwiderstand des Stromkreises $W = 7{\cdot}5 + 7 + 6{\cdot}5 = 21\,\Omega$, der Gesammtspannungsverlust $e = 21 \times 23 = 483$ Volt und die gegenelektromotorische Kraft $E_2 = 1.500 - 483 = 1.017$ Volt.

Daher ist das elektrische Güteverhältnis der Kraftübertragung

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1.017}{1.500} = 0{\cdot}67$$

das wirtschaftliche $N = 0{\cdot}67 \times 0{\cdot}92 \times 0{\cdot}94 = 0{\cdot}57$.

Die Secundärarbeit ist $A_2 = 50 \times 0{\cdot}57 = 28{\cdot}5$ HP.

Dieselbe Berechnung lässt sich nun machen, wenn der Fall *b*) vorliegt. Es würden dann A_2, n_1, n_2, w_1, w_2, C_p, E_2, $e\%$, L und HPh gegeben und E_1, W, A_1, sowie N zu bestimmen sein.

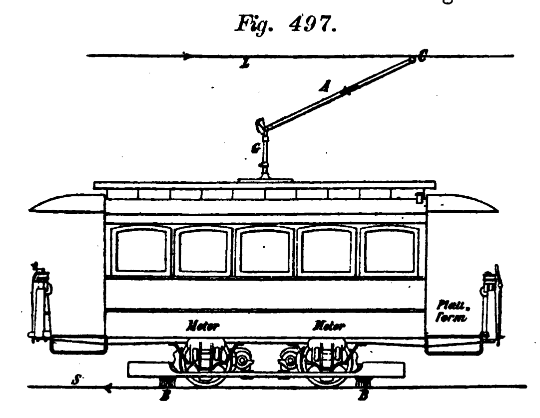
Die elektrischen Eisenbahnen.

Die interessanteste und wichtigste Specialität der elektrischen Kraftübertragung ist die elektrische Zugförderung, welche im Hinblicke auf die in den großen Städten nothwendig gewordene Schaffung von Straßen- und Localbahnen, dann wegen der neuesten Versuche den elektrischen Betrieb auch auf den Fernverkehr auszudehnen, das allgemeinste Interesse erregt.

1. Das Princip der elektrischen Traction ist sehr einfach. Ein oder mehrere, besonders construierte Elektromotoren werden an einem Wagengestelle befestigt. Der dem Elektromotor zugeführte elektrische Strom bewirkt nach Seite 326 das Auftreten von Zugkräften, welche die Rotation des Motorankers hervorrufen und welche durch geeignete Übersetzungsvorrichtungen auf die Wagen-, bezw. Räderachse übertragen werden, und damit den Motorwagen zur Bewegung auf einer Schienenbahn bringen können.

Bei dieser Art elektrischer Kraftübertragung wird die, die Elektricität liefernde oder antreibende Dynamo-Maschine an einem Orte (Centralstation) fix aufgestellt, der elektrische Strom sodann entweder durch die im Terrain führenden Drahtleitungen dem, mit dem Wagen sich fortbewegenden Motor zugeführt, oder es wird die Elektricität in Accumulatoren aufgespeichert und diese sammt dem Motor auf dem Wagen fortgebracht; hiebei entladen sich die Sammelapparate während der Fahrt in den Elektromotor oder geben ihre Elektricität an diesen ab. Bei dieser letzteren Art der Elektricitätszuführung ist der Wagen gewissermaßen unabhängig von der Erzeugerstation geworden und kann sich nach beliebiger Richtung (eventuell auch ohne Schienenbahn) bewegen, während bei der ersteren Art der Stromzuleitung der Motorwagen stets an die Stromleitung gebunden und diese daher für die Bewegungsrichtung des Wagens maßgebend ist.

Fig. 497.



Im allgemeinen werden bei der elektrischen Zugförderung sonach drei wesentliche Bestandtheile unterschieden werden können, u. zw.:

a) die die Elektricität liefernde Central-(Erzeuger-) Station,

b) die den Lasttransport bewirkenden Motorwägen, und

c) die zur Stromzuführung dienenden elektrischen Stromleitungen.

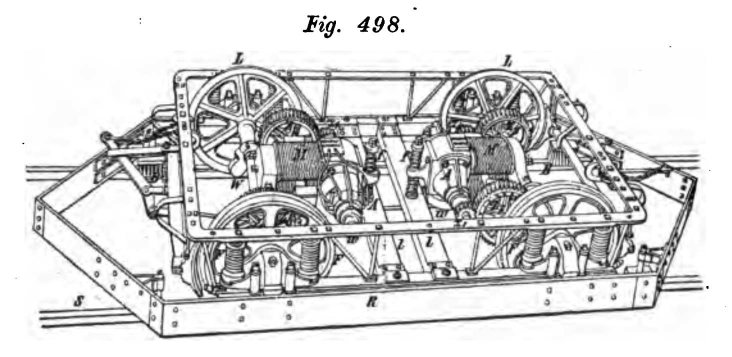
Die Centralstationen für die elektrische Traction unterscheiden sich nicht wesentlich von jenen für elektrische Beleuchtungsanlagen und werden in ihrem Betriebe oft mit solchen combiniert. Sie enthalten nebst den Betriebsräumen noch die nothwendigen Wagenremisen, Reparaturwerkstätten u. dgl. m.

Den wichtigsten Theil bildet jedoch der „Motorwagen" (Fig. 497), der hinsichtlich Einrichtung, Form und Antriebsart eine Menge von Varianten zulässt. Im allgemeinen sind die Motorwagen entweder derart construiert, dass

sie zur gleichzeitigen Aufnahme des Elektromotors und der Last dienen, wie dies z. B. bei elektrischen Straßen- oder Localbahnen vorkommt, oder sie enthalten nur den Motor allein und werden sodann als „elektrische Locomotive“ an mehrere motorlose Lastwagen gekuppelt. In beiden Fällen kann der entsprechend geformte und neuerzeit meist mittels kastenförmiger Schutzpanzer geschützte Elektromotor an dem Untergestelle, oder an dem Wagenkasten selbst befestigt werden. Die erstere Art der Befestigung ist aus mannigfachen Gründen der zweiten vorzuziehen.

In der Fig. 498 ist beispielsweise das Untergestell einer Wagentype von Sprague & Cie. (für Straßenbahnen) gegeben. In dieser Figur bedeutet M

Fig. 498.



den antreibenden Motor, A dessen Anker (Elektricitätserzeuger), der an dem einen Ende seiner Achse w ein Zahnrad z_1 aufgekeilt hat; dieses correspondiert mit dem Zahnrade z_2 und durch jene z_3, z_4 wird die Kraft auf die Wagenachse W übertragen. Der Elektromotor sitzt mit einem Ende auf der zugehörigen Wagenachse W, mit dem anderen Ende mittels Tragfedern f auf einer Querlamelle l eines eisernen Rahmens R, der wieder mittels Spiraltragfedern F auf den rotierenden Achsen W gelagert ist.

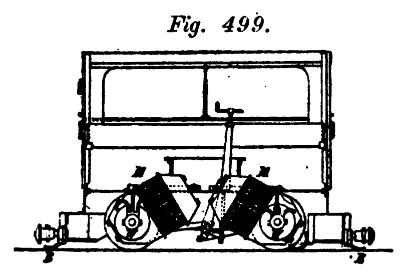
Der Oberwagen oder der Wagenkasten, Fig. 497, enthält den Sitz- oder Laderaum, und besitzt vorne und rückwärts je eine Plattform für den Wagenführer. Der letztere handhabt die hier angebrachten „Schaltapparate“, welche es ermöglichen, den Wagen in oder außer Bewegung zu bringen, demselben eine größere oder geringere Geschwindigkeit, oder bestimmte Bewegungsrichtung zu geben.

Hinsichtlich der Übertragungsmittel sei noch erwähnt, dass bei den Motorwagen Zahnradübersetzungen, Wurmtriebe, Frictionsräderantriebe, ferner flexible Kettenvorgelege, Seiltriebe u. dgl. m. angewendet werden.

Je nach der Zahl der Übertragungsorgane lassen sich Motorwagen mit e i n m a l i g e r, z w e i m a l i g e r Ü b e r s e t z u n g zwischen Motor- und Wagenachse, oder solche mit d i r e c t e m A n t r i e b e unterscheiden. Der Antrieb mit einmaliger Zahnradübersetzung ist der gebräuchlichste, der directe Antrieb wird bei großen Motoren (elektrischen Locomotiven) angewendet.

In der Fig. 499 ist als weiteres Beispiel eine „elektrische Locomotive“ dargestellt, wie sie bei der City and South London-Bahn in Verwendung steht. Zwei mit den Radachsen *W* direct verbundene Elektromotoren *M* bewirken den Antrieb des kastenförmig gebauten Wagens, dessen Inneres nur zur Aufnahme des Wagenführers und der Hilfs- und Schaltapparate hergerichtet ist.

Fig. 499.



Von den Motortypen benützt man bisher nur Gleichstrommotoren, da nur diese allein entsprechen. Gewöhnlich werden zwei Motoren bei jedem Wagen verwendet; doch kommen auch mehr (4 bis 6) Motoren bei elektrischen Locomotiven vor. Einmotorige Wagen werden meist nur auf Linien mit wenig Profil gebraucht. Bei zwei Motoren können diese entweder gekuppelt, oder jeder Motor für sich auf eine Achse wirken. Die Motoren werden im Stromkreise der Erzeugermaschine verschieden (parallel oder hintereinander) geschaltet.

Was nun die Stromleitungen betrifft, so können diese in verschiedener Weise angeordnet werden, — wodurch sich mannigfache Systeme der elektrischen Traction ergeben, von welchen die hauptsächlichsten im nachfolgenden kurz besprochen werden sollen.

2. Die Systeme der elektrischen Traction. Die bisher ausgeführten elektrischen Eisenbahnen kann man je nach der Art des Verkehres in Straßen-, Localbahnen und solche für den Fernverkehr, dann nach der baulichen Durchführung in Hoch- oder Untergrundbahnen, nach der Stromform in solche für Gleich- und Wechselstrom, und endlich nach der örtlichen Anordnung der Stromzuführung vom Generator zum Elektromotor untertheilen: in solche, bei welchen der Stromleiter im, über oder unter dem Planum der elektrischen Bahn liegt. Hier sollen, des allgemeinen Verständnisses wegen, diese Varianten elektrischer Bahnen kurz betrachtet werden, da sie typisch für die Anwendung bei der elektrischen Zugförderung sind.

a) Die älteste Type elektrischer Eisenbahnen war jene mit der Stromzuführung im Planum, u. zw. wo beide Laufschienen, welche von der Erde und von einander entsprechend isoliert worden waren, zur Stromleitung dienten. Der elektrische Strom wurde durch eine Schiene über ein Laufrad dem Elektromotor zu-, und über das zweite Laufrad und die andere Laufschiene zur Generatorstation zurückgeführt. Da diese Art der Stromzuführung große Nachtheile bedingt und auch Verunglückungen durch Berühren der Schienen eintreten können, ordnete man bei den neueren Systemen mit der Stromführung im Planum eine dritte, isolierte Schiene zwischen den Laufschienen an, welche allein den Strom zuführt, während die nicht isolierten Laufschienen, bezw. die Erde als Rückleitung dienen. Diese dritte Stromleitungsschiene kann entweder als continuierlicher Leiter, oder aber abtheilungsweise verlegt werden.

Krümmungen und Kreuzungen sind bei dem Stromzuführungssysteme im Planum von derselben principiellen Construction wie bei den gewöhnlichen Eisenbahnen. Da bei dem Systeme mit dritter Zuleitungsschiene durch ein Berühren der Schienen ebenfalls Unglücksfälle eintreten können, so war man

jüngster Zeit bemüht, derartige Einrichtungen zu treffen, dass der Stromlauf sich nur dann vervollständige, wenn der Wagen sich gerade über der betreffenden Schienenabtheilung befindet. Derlei Vorrichtungen, die auf mechanischem, magnetischem oder elektrischem Wege vom Wagen selbst bethätigt werden können, haben sich aber bisher in der Praxis nicht bewährt. Sie würden jedoch bei zufriedenstellendem Functionieren — namentlich im Hinblick auf die Schaffung von elektrischen Straßenbahnen, — für diese eine aussichtsreiche Zukunft bedingen.

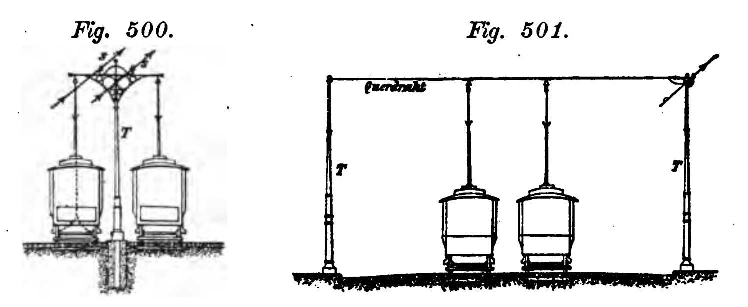
Das System mit der Stromzuführung im Planum ist einfach und billig, krankt aber an Isolationsschwierigkeiten.

b) Beim Systeme mit oberirdischer Stromzuleitung werden über dem Bahnplanum entweder einfache oder doppelte Drahtleitungen geführt. Im letzteren Falle ist die Hin-, und Rückleitung getrennt, im ersteren Falle dient die Erde als Rückleitung.

Anfänglich besaß man für die Stromzuführung von unten gestütze Drähte, auf welchen ein kleiner Contactwagen vom Motorwagen mitgenommen werden konnte. Später gelangten als Ersatz hiefür geschlitzte Kupferrohre zur Anwendung, die von Stahlkabeln getragen wurden, wobei in dem Kupferrohre ein Contactschiffchen glitt, welches der Wagen nach sich zog. Ein solches Rohrsystem besaß aber viele Nachtheile und man war daher bald wieder auf jenes mit Drahtleitungen zurückgegangen; das oberirdische System wurde jedoch dadurch wesentlich verbessert und vereinfacht, dass man den Schleifcontact statt auf der Ober-, auf der Unterseite des blanken Leitungsdrahtes gleiten ließ. Als solchen Schleifcontact verwendete man fast allgemein ein mit einer Rille versehenes Contactrad oder vereinzelt später einen Gleitsattel. Auf diese Weise entstand das sogenannte „Trolley- (Laufrollen-) System“, das heute am meisten verbreitet ist, u. zw. wegen der leichten und einfachen Construction und den damit zusammenhängenden, relativ geringen Anlagekosten.

Beim Laufrollensysteme wird ein etwa 5*mm* dicker Kupferdraht ungefähr 5*m* hoch über dem Geleise geführt (Fig. 500), und von diesem Drahte dann der elektrische Strom mittels eines, durch eine Feder an den Draht von unten angedrückten Armes *A* (Fig. 497), der an seinem Ende mit der Laufrolle *C* versehen ist, entnommen. Die Figuren 497, 500 und 501 geben die Ansicht

Fig. 500. *Fig. 501.*



eines Laufrollensystems, wobei die Erde (Laufschiene) als Rückleitung benützt wird. Die Zuführung des elektrischen Stromes von der Erzeugermaschine zum Laufrollendraht geschieht durch eigene „Speiseleitungen“ *s* (Fig. 500). Als Aufhänge- oder Stützpunkte für die Laufrollen-, dann für die Speiseleitung werden

meist 7 bis 8*m* hohe hölzerne, oder eiserne Träger *T* verwendet, an deren Consolen (Fig. 500) der Laufrollendraht aufgehängt wird, eventuell an eigenen Querdrähten, wie dies die Fig. 501 ersehen lässt. Damit bei der Rückleitung des Stromes durch die Laufschienen ein guter Contact bewirkt werden könne, sind stets die zwei aneinander stoßenden Schienen durch kurze Kabelstücke oder Kupferbänder mit einander verbunden. Zum Tragen der Stromleitungsdrähte werden eigene Isolatoren verwendet, von welchen in der Fig. 502 ein Beispiel gegeben ist.

Fig. 502.

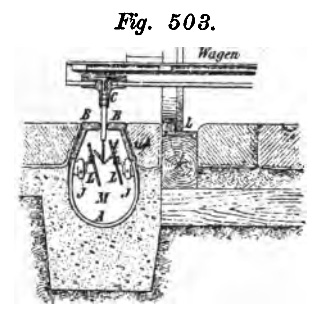
Als Vortheil des Laufrollensystems ist die Einfachheit und große Schmiegsamkeit zu bezeichnen, mit der sich dieses System den Bedürfnissen des Verkehres anzupassen vermag. Das System ist übersichtlich, die erforderlichen Reparaturen können schnell bewerkstelligt werden.

Als Nachtheil ist nur die Verunstaltung zu bezeichnen, welche städtische Straßen — insbesondere bei lebhaftem Tractionsverkehre, — durch die vielen Ständer und Leitungsdrähte erfahren. Ferner erzeugen die Gleitcontacte Geräusche, und es werden beim einfachen Systeme (mit Erdrückleitung) die Telephon- und Telegraphenlinien durch die benachbarten Bahnlinien oft gestört. Endlich bilden die oberirdischen Leitungen complete Blitzableiter, was eine stete Gefahr für Maschinen und Motoren bedeutet.

c) Beim Systeme mit unterirdischer Stromzuführung wird eine isolierte Doppelleitung entweder in der Mitte oder an der einen Seite eines Geleises canalartig versenkt. Dieser Canal hat oben eine Öffnung, durch welche der den Strom abnehmende, sogenannte „Bürstenträger" greift. Eine derartige, in Budapest und anderen Orten zur Anwendung gekommene Canalisierung von Stromleitern bietet aber viele Schwierigkeiten in Bezug auf die Entwässerung derselben, auf das Ansammeln von Schmutz und Schnee, dann hinsichtlich der Herstellungen von Weichen, Kreuzungen etc. Es erscheint daher eine Anwendung so eines kostspieligen Systems nur in Städten mit engen Straßen und sehr starkem Verkehre zulässig.

Die Fig. 503 zeigt eine solche unterirdische Leitungsanlage; hier sind die auf Isolatoren *J* montierten Stromleiter *L* im Canale *M* geführt, welcher aus Cement unter Zuhilfenahme der eisernen Gerippe *A* hergestellt wurde. Durch den von den Deckplatten *B* gebildeten Canalschlitz greift der vom Wagen mitgenommene Contactarm *C* und streift mit zwei Federn *t* die Stromleiter *L*, hiemit die Stromabnahme bewirkend. Dieses theure und complicierte System erfordert eine sehr aufmerksame Instandhaltung, erleichtert hingegen wesentlich den Verkehr in sehr volkreichen Städten.

Fig. 503.



d) Beim Systeme mit Accumulatoren wird entweder jeder einzelne Wagen mit der zu seiner Fortbewegung nothwendigen Energie durch Beigabe von Accumulatoren versehen, oder die Accumulatoren werden auf einem separaten Wagen verladen, der dann vom Motorwagen mitgenommen wird. Im ersteren Falle sind die elektrischen Accumulatoren unter den Sitzen der Passagiere oder in besonderen Wagenabtheilungen vertheilt. Das Accumulatorsystem besitzt

viele Vorzüge vor den directen Stromzuleitungssystemen, von welchen jener eines unabhängigen Betriebes wohl der wesentlichste ist. Außerdem fallen die Störungen weg, welche bei der directen Stromzuführung in den Stromleitungen vorkommen, und in sehr intensiver Weise den Betrieb stören können. Dieses System hat aber den Nachtheil, dass bei Anwendung von Blei-Accumulatoren diese ein zu großes Gewicht bei geringer Lebensdauer besitzen, stark unter dem Einflusse kräftiger Beanspruchung leiden und mehr betriebstechnische Einrichtungen verlangen, als die directen Systeme. Für Linien mit starkem Gefälle hat man in neuerer Zeit Kupfer- und Zink-Accumulatoren versucht. Sie haben aber bisher relativ nur geringe Anwendung gefunden.

3. Was die Anwendungsfähigkeit der elektrischen Eisenbahnsysteme betrifft, so kann diese nach zwei Standpunkten betrachtet werden, u. zw.: *a*) je nach dem Einflusse, welchen die elektrische Traction als allgemeines Verkehrsmittel ausübt, und *b*) je nach dem Einflusse, welchen dieselbe auf die militärischen Forderungen, die an ein solches Transportsystem gestellt werden müssen, ausüben kann. In der ersten Hinsicht resultiert die Anwendungsfähigkeit aus den Vortheilen, welche die elektrische Traction im allgemeinen und aus jenen, welche die speciellen Systeme bieten. In beiden Richtungen ergeben sich eine große Zahl von Momenten, die für die Anwendungsfähigkeit der elektrischen Zugförderung sprechen. So ermöglicht der elektrische Verkehr, abgesehen von den günstigen hygienischen Einflüssen (kein Rauch, Schmutz etc.), insbesondere für den städtischen Verkehr die Verwohlfeilung und Beschleunigung des Verkehrs und damit Zeitersparnis. Betrachtet man die Umsetzung der Energien bei der elektrischen Traction, so sollte man allerdings glauben, dass das elektrische Zugförderungssystem wegen der zahlreichen Energietransformationen, welche bei demselben vorkommen, nicht ökonomisch ist; es zeigen jedoch die bei langjährigen, praktischen Erfahrungen gesammelten Kostenansätze, dass die elektrische Traction im Vergleiche zu anderen Transportmitteln sich relativ noch billiger stellt, was am besten wohl auch die progressive Ausbreitung des Systems nicht nur für den Straßenbahn-, sondern auch für den Localbahnbetrieb erkennen lässt. Die elektrische Traction hat ferner eine außerordentliche Anschmiegungsfähigkeit an den Verkehr, gestattet das leichte Ingangsetzen, Anhalten und das Umkehren der Fahrrichtung; gestattet ferner eine vermehrte Geschwindigkeit, endlich leichte Bewältigung von Steigungen und plötzlich auftretender starker Beanspruchungen. Sie ist ferner unabhängig vom Straßengrunde.

In Bezug auf die Geschwindigkeit haben z. B. die Erfahrungen gezeigt, dass es möglich ist, mittels elektrisch betriebener Vehikel relativ große Geschwindigkeiten bei selbst sehr starken Curven (z. B. 40 bis 60*km* in der Stunde mit 15*m* Krümmungsradius) anzuwenden.

Während als gebräuchliche Geschwindigkeiten bei amerikanischen und continentalen, elektrischen Straßenbahnen 10 bis 15*km* in der Stunde, bei Localbahnen 40 bis 65*km* angenommen wurden, will man in neuerer Zeit im Fernverkehr auf normale Geschwindigkeiten über 120*km* (ja selbst bis zu 200*km*) auf ebener Strecke gehen. (Das Zipernowsky'sche Project für den Schnellverkehr Wien—Budapest berechnet die normale Fahrgeschwindigkeit mit 150*km* in der Stunde). Inwieweit sich jedoch diese Ansätze einer beträchtlich vermehrten Geschwindigkeit im Personenverkehre realisieren lassen, ist heute noch nicht abzusehen.

In Bezug auf das Befahren von Steigungen hat die elektrische Traction den wesentlichen Vortheil, dass hier nicht nur das Eigengewicht, sondern auch die gesammte Nutzlast des Wagens auf die Erhöhung des Adhäsionsgewichtes wirkt, sonach viel größere Steigungen bei der elektrischen Traction bewältigt werden können, als bei anderen Betrieben.

So sind bisher Steigungen mit 96‰ anstandslos befahren worden und haben Versuche weiters gezeigt, dass selbst Steigungen von 1:10, ja selbst 1:7 noch auf kurze Strecken bewältigt werden können.

In militärischer Hinsicht würde die elektrische Traction hauptsächlichst nach zwei Richtungen hin beeinflussend sein, u. zw. erstens in Bezug auf die durch die elektrische Traction erreichbare, höhere Geschwindigkeit und zweitens in Bezug auf die höhere Sicherheit des Betriebes. Von diesen Factoren könnte jedoch nur die erste einen militärisch wichtigen Einfluss ausüben, indem eine vermehrte Geschwindigkeit, sowohl für den Mobilisierungsfall, als auch für den Nachschub von Kriegsmaterial nach bewirktem Aufmarsche von Bedeutung ist[1]).

Anwendung der Elektrolyse.

Die Anwendung der Stromarbeit zu chemischen Processen erstreckt sich auf die verschiedensten Gebiete.

Von besonderer Bedeutung ist zu bezeichnen:

a) die Herstellung von metallischen Überzügen auf Gegenstände und die Herstellung plastischer Abbilder, erstere Galvanostegie, letztere Galvanoplastik genannt. Hiezu gehören die Methoden der Verkupferung, Vernickelung, Platinierung, Vergoldung u. dgl. m., ferner zur Galvanoplastik die Erzeugung von Clichés oder von Kupferdruckplatten.

b) Die Elektrometallurgie oder die Verwendung der Stromarbeit zur Läuterung von Rohmetallen und Gewinnung einzelner Metalle aus Erzen und aus gelösten oder geschmolzenen Verbindungen, die Gewinnung von Metalllegierungen, sowie die Scheidung solcher in einzelne Metalle u. dgl. m. Hieher gehören also: die Kupferläuterung, die Gewinnung von Kupfer, Chrom, Zink, Aluminium, Gold, Silber, Arsen, etc.

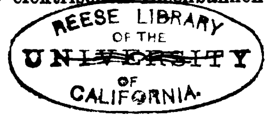
c) Die Darstellung nichtmetallischer Elemente und unorganischer Verbindungen; also z. B. die Darstellung von Sauer- und Wasserstoff, Phosphor, Chlor, Kaliumchlorat etc.; ferner die Elektrolyse der Nitroderivate, Darstellung von Chloroform, Farbstoffe, die Rectification des Alkohols, Reinigung von Weinen, Rübensaftes, Abwässer u. dgl. m.

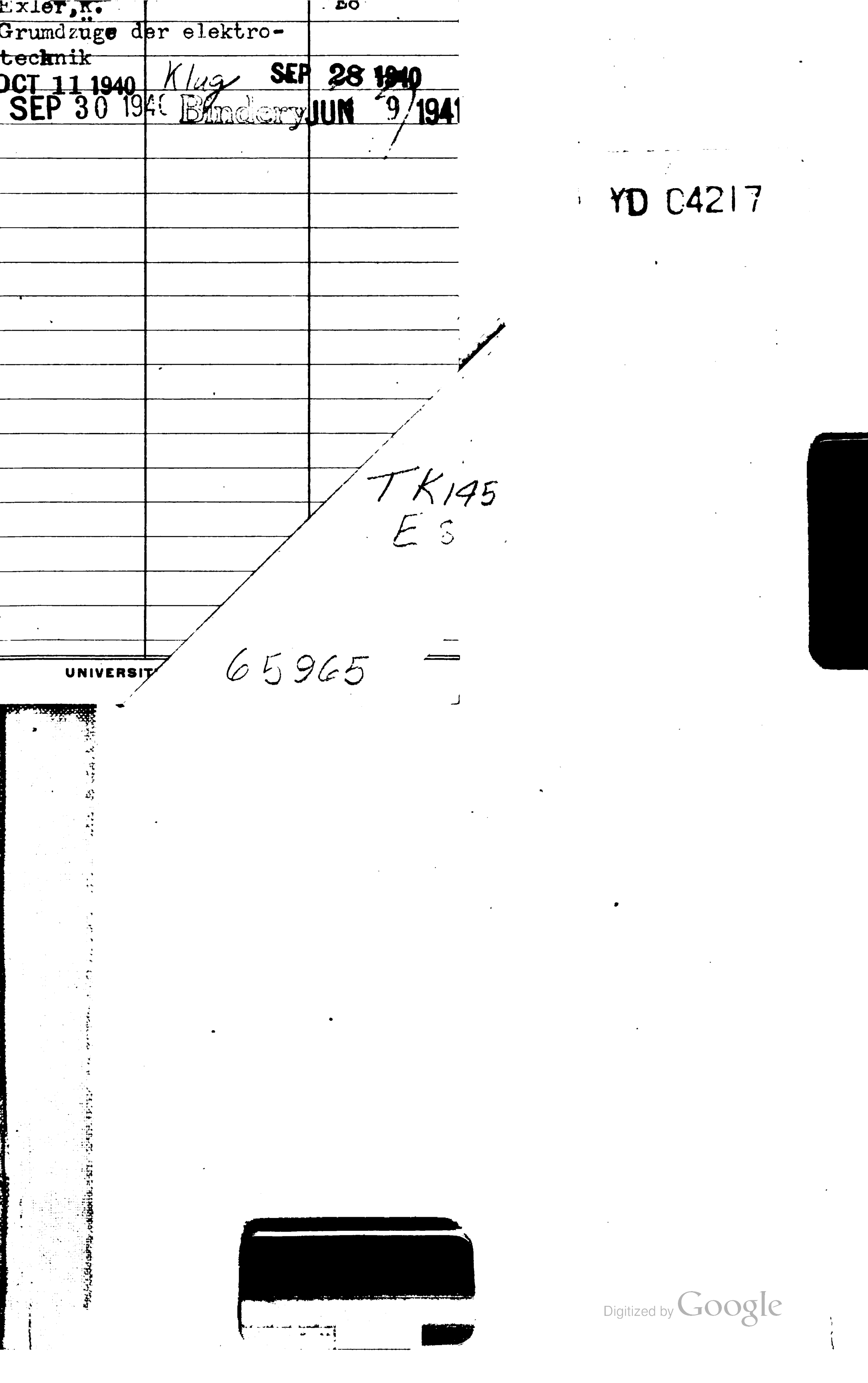
d) Die Anwendung der Elektrolyse in der Färberei und Druckerei, dann zum Bleichen.

Anschließend hieran sei schließlich noch erwähnt: die Anwendung des Magnetismus in der Metallurgie zur Scheidung der Erze und von Eisentheilen, dann die Wirkungen des elektrischen Funkens des Voltabogens behufs Zersetzung von Metallverbindungen, Schmelzen von Glas, Kieselerde, dann aller Art Metalle, die Herstellung von Carbiden u. dgl. m.

---

[1]) Siehe hierüber „Die elektrischen Eisenbahnen“ vom Verfasser.




Exler, K.
Grumdzüge der elektro-
technik
OCT 11 1940
Klug
SEP 28 1940
SEP 30 1940
Bindery
JUN 9 1941
UNIVERSIT

